…sandt von Otto Graf

FORSCHUNGSARBEITEN
AUF DEM GEBIETE DES INGENIEURWESENS

HERAUSGEGEBEN VOM VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE
SCHRIFTLEITUNG : D·MEYER UND M·SEYFFERT

Versuche mit Beton- und Eisenbetonquadern zu Brückengelenken und Auflagern

Mitteilung aus der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart

Von

Otto Graf



BERLIN
Verlag des Vereines deutscher Ingenieure
Für den Buchhandel: Verlagsbuchhandlung Julius Springer
1921

FORSCHUNGSARBEITEN
AUF DEM GEBIETE DES INGENIEURWESENS
HERAUSGEGEBEN VOM VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Schriftleitung: D. Meyer und M. Seyffert

Heft 232

Versuche mit Beton- und Eisenbetonquadern zu Brückengelenken und Auflagern

Mitteilung aus der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart

Von

Otto Graf

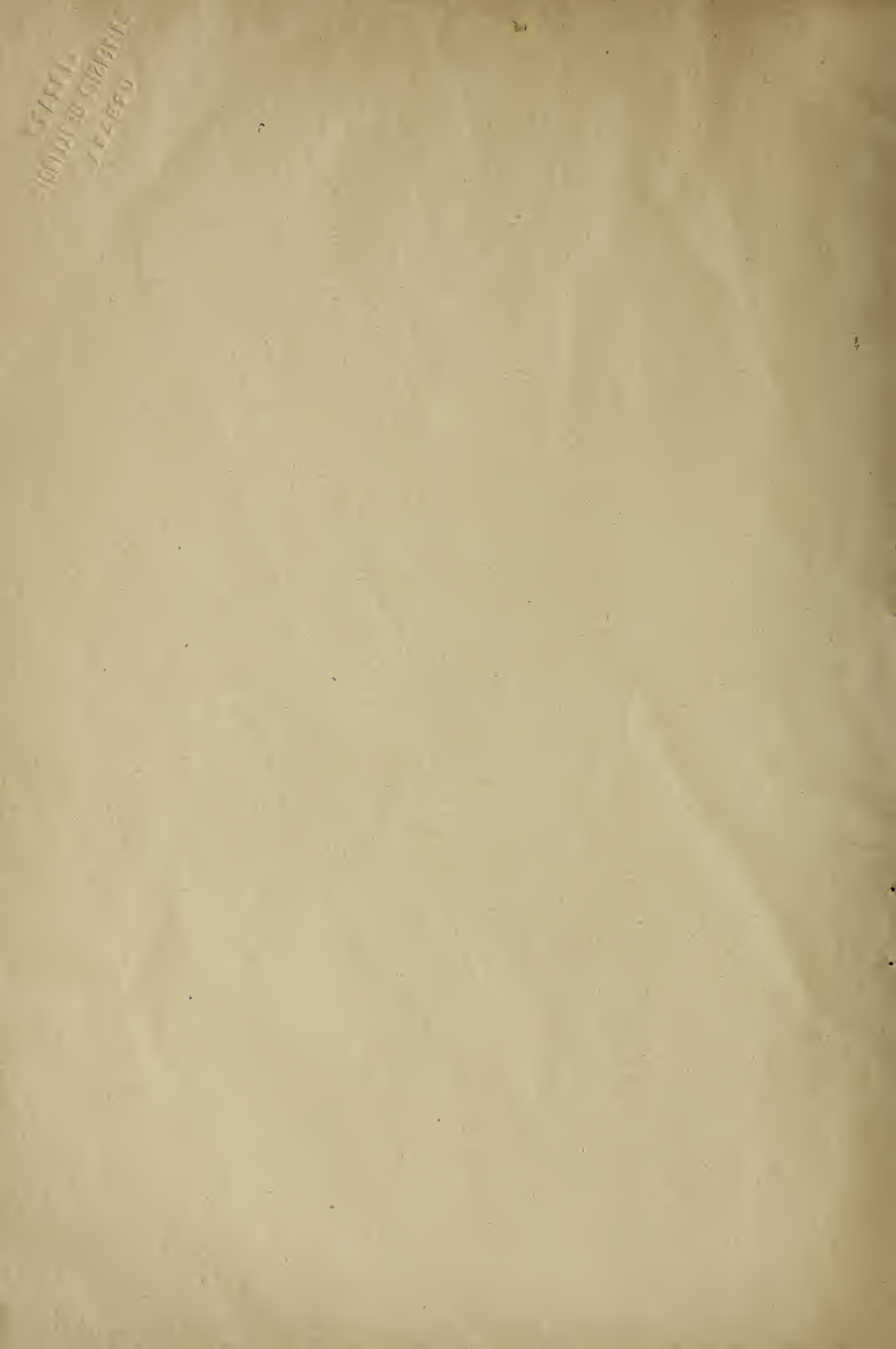


BERLIN

Verlag des Vereines deutscher Ingenieure

Für den Buchhandel: Verlagsbuchhandlung Julius Springer

1921





Inhaltsverzeichnis.

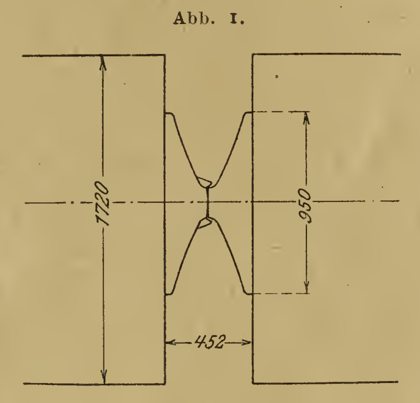
Versuche mit Beton- und Eisenbetonquadern zu Brückengelenken und Auflagern.

(Mitteilung aus der Materialprüfungsanstalt der Technischen Hochschule Stuttgart).

Von **Otto Graf.**

Die bisher veröffentlichten Versuche[1]) mit Brückengelenken erstreckten sich namentlich auf Wälzgelenke aus Granit, Sandstein, Beton und Eisenbeton, bei denen die Kraftübertragung in der Gelenkfuge unmittelbar durch diese Materialien erfolgte. Die Versuche, über die im folgenden berichtet wird[2]), betreffen Körper, bei denen die Kräfte in den Gelenkfugen von eisernen Lagerkörpern aufgenommen werden und bei welchen sich diese eisernen Lagerkörper mit breiter Fläche auf Beton- und Eisenbetonquader stützen, vergl. Abb. 1. (Beispiel von der Eisenbahnbrücke über den Neckar bei Stuttgart-Cannstatt).

Abb. 1.



Die vorliegenden Versuche sind im besonderen zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit von Auflagerquadern zu Brückengelenken durchgeführt worden, dürften aber auch zur weitergehenden Klarstellung der Widerstandsfähigkeit von Auflagern im allgemeinen beitragen[3]).

A) Versuche zur Ermittlung des Einflusses der Stärke der Bewehrung, der Größe der Versuchskörper, sowie der Stärke der Belastungsplatten.

Diese Versuche sind im Winter 1912/13 für die Firma Dyckerhoff & Widmann, A.-G. in Karlsruhe aus Anlaß des Baues der viergleisigen Eisenbahnbrücke über den Neckar bei Stuttgart-Cannstatt durchgeführt worden[4]). Der

---

[1]) Vergl. C. Bach, Versuche mit Granitquadern zu Brückengelenken, Mitteilungen über Forschungsarbeiten 1904, Heft 17, S. 59 u. f. und Versuche mit Sandsteinquadern zu Brückengelenken, Mitteilungen über Forschungsarbeiten 1904, Heft 20, S. 1 u. f., ferner die zusammenfassende Abhandlung von Gesteschi im Handbuch für Eisenbetonbau, 6. Band, 2. Aufl. S. 382 u. f.

[2]) An der Durchführung der Versuche waren insbesondere Herr Brenner sowie Herr Weise beteiligt.

[3]) Ueber Versuche von Bauschinger und von Bach mit Auflagerquadern aus Natursteinen vergl. C. Bach, Elastizität und Festigkeit, 1. Auflage, S 45, 8. Auflage, S. 217.

[4]) Vergl. Spangenberg, Zwei Betonbauten vom Stuttgarter Bahnhofneubau, Deutsche Bauzeitung, Mitteilungen über Zement, Beton- und Eisenbetonbau, 1914, S. 82 u. f., namentlich S. 91, 98 und 99. Die Firma Dyckerhoff & Widmann, A.-G., hat in sehr dankenswerter Weise die Zustimmung zur Veröffentlichung erteilt.

Versuchsplan war auf Grund eines von Herrn Direktor Spangenberg entworfenen Programms gemeinsam mit der Materialprüfungsanstalt aufgestellt worden. Die Versuche sollten nicht nur Aufschluß über die Abhängigkeit der Festigkeit der Versuchskörper von der Bewehrung geben, sondern auch darüber, inwieweit es überhaupt zweckmäßig ist, die Betonquader zu bewehren. Werden diese ohne Bewehrung ausgeführt, so läßt sich bei guter Stampfarbeit, die hierbei eben nicht durch die Bewehrung gehindert wird, eine größere Festigkeit des Betons an sich erzielen, wodurch die Festigkeitserhöhung infolge der Bewehrung bei plastischer Mischung des Betons bis zu einem gewissen Grade ausgeglichen werden kann.

I. Bauart der Versuchskörper.

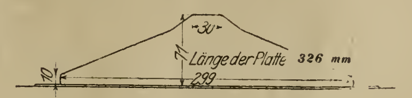
Es wurden hergestellt:

1) Reihe 1: 9 Eisenbetonkörper der Bauart nach Abb. 2 und 3 mit 20 Eiseneinlagen aus 8 mm Rundeisen und 10 Querstäben aus 12 mm Rundeisen in den Haken der Längsstäbe. Zu 3 Körpern wurden Belastungsplatten aus Stahlguß nach Abb. 2 und 3 gewählt — im folgenden Reihe 1a genannt —, zu drei weiteren Körpern Platten nach Abb. 4 (Reihe 1b). Die Platten nach Abb. 4

Abb. 2 und 3. Körper der Reihe 1 a.

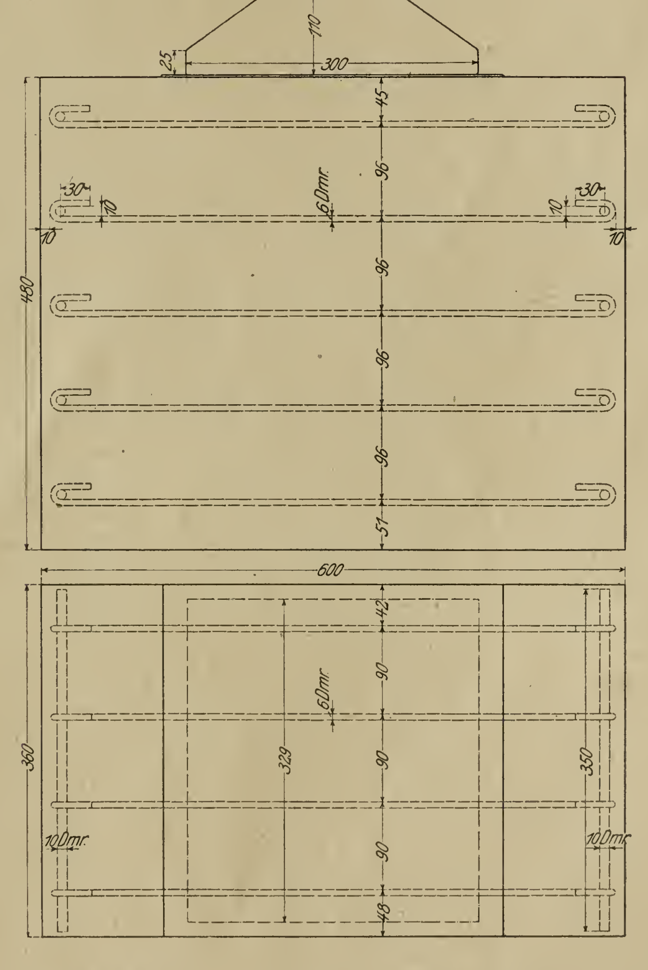
waren ähnlich denen, die beim Bau Verwendung fanden[1]), mit Abmessungen von etwa 1/3 natürlicher Größe. 3 Körper sind an anderer Stelle untersucht worden.

Abb. 4. Körper der Reihe 1 b.



2) Reihe 2: 6 Eisenbetonkörper mit Bauart nach Abb. 5 und 6 mit 20 Einlagen aus 6 mm Rundeisen und 10 Querstäben aus 10 mm Rundeisen. Die Größe der Körper und die Anordnung der Bewehrung sind die gleichen wie

Abb. 5 und 6. Körper der Reihe 2.



bei Reihe 1 a, jedoch sind die Einlagen schwächer (6 mm statt 8 mm). Der Querschnitt der 20 Eiseneinlagen, bezogen auf den Querschnitt 360 × 480 mm des Versuchskörpers, beträgt

[1]) Vergl. an der Seite 2, Fußbemerkung 4, bezeichneten Stelle S. 91, Abb. 16.

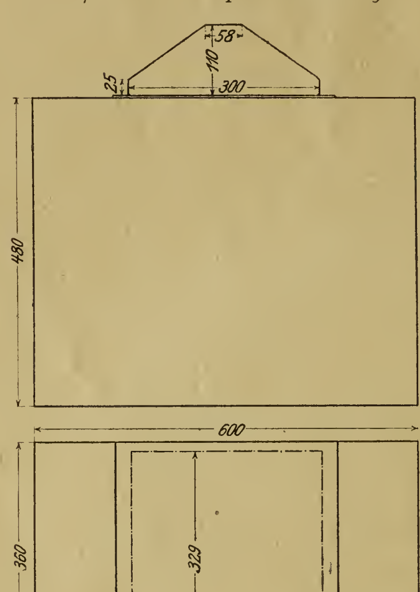
bei Reihe 1 Reihe 2

$$\mu = \frac{20 \cdot 0{,}8^2 \frac{\pi}{4}}{36 \cdot 48} 100 = 0{,}58 \text{ vH.} \qquad \mu = \frac{20 \cdot 0{,}6^2 \frac{\pi}{4}}{36 \cdot 48} 100 = 0{,}33 \text{ vH.}$$

Von den 6 Körpern nach Abb. 5 und 6 lagern noch 3 Körper in der Versuchsanstalt zur Prüfung in höherem Alter.

3) Reihe 3: 3 Betonkörper nach Abb. 7 und 8 ohne Eiseneinlagen. Abmessungen der Körper wie bei Reihe 1.

Abb. 7 und 8. Körper der Reihe 3.



4) Reihe 4: 3 Betonkörper nach Abb. 9 und 10 mit 20 Längsstäben aus 6 mm Rundeisen, außerdem 30 Quereisen und zwar 10 Querstäbe aus 10 mm Rundeisen in den Haken der Längsstäbe und 20 Querstäbe im mittleren Teil der Körper aus 6 mm Rundeisen.

Die Körper nach Abb. 9 und 10 besitzen die gleiche Anzahl Längsstäbe wie die Körper nach Abb. 5 und 6; hinzutreten jedoch bei den Körpern nach Abb. 9 und 10 die 20 Quereisen aus 6 mm Rundeisen.

Zur Feststellung des Einflusses der Größe der Versuchskörper wurden hergestellt:

5) Reihe 5: 3 Eisenbetonkörper nach Abb. 11 und 12 mit 20 Längsstäben aus 6 mm Rundeisen und 10 Querstäben aus 10 mm Rundeisen in den Haken der Längsstäbe. Die Körper messen 360, 270 und 450 mm, gegenüber 480, 360 und 600 mm bei Reihe 1 bis 4. Der Querschnitt der 20 Längsstäbe, bezogen auf den Querschnitt 270 × 360 mm des Versuchskörpers, beträgt

$$\mu = \frac{20 \cdot 0{,}6^2 \frac{\pi}{4}}{27 \cdot 36} 100 = 0{,}58 \text{ vH;}$$

der Bewehrungsgrad ist also derselbe, wie bei den Körpern der Reihe 1.

6) Reihe 6: 3 Eisenbetonkörper nach Abb 13 und 14 mit 20 Längsstäben und zwar 4 Stück aus 4 mm Rundeisen und 16 Stück aus 5 mm Rundeisen, ferner mit 10 Querstäben aus 10 mm Rundeisen in den Haken der Längsstäbe. Die Abmessungen der Körper betragen 288, 216 und 360 mm gegenüber 360, 270 und 450 mm bei Reihe 5. Der Querschnitt der 20 Längsstäbe, bezogen auf den Querschnitt 216 × 288 mm des Versuchskörpers, beträgt

$$\mu = \frac{4 \cdot 0{,}4^2 \frac{\pi}{4} + 16 \cdot 0{,}5^2 \frac{\pi}{4}}{21{,}6 \cdot 28{,}8} \, 100 = 0{,}59 \text{ vH};$$

der Bewehrungsgrad ist somit fast genau so groß, wie bei den Körpern der Reihe 1 und der Reihe 5.

Abb. 9 und 10. Körper der Reihe 4.

Außerdem wurden hergestellt:

7) 10 Würfel von 30 cm Kantenlänge zur Ermittlung der Würfelfestigkeit des Betons;

8) 6 Prismen mit quadratischem Querschnitt von 20 cm Seitenlänge und 80 cm Höhe zur Ermittlung der gesamten, bleibenden und federnden Zusammen-

drückungen unter verschiedenen Belastungen (Druckelastizität des Betons), sowie zur Bestimmung der Prismenfestigkeit des Betons;

9) 6 Zugkörper mit quadratischem Querschnitt von 20 cm Seitenlänge zur Ermittlung der gesamten, bleibenden und federnden Verlängerungen unter verschiedenen Belastungen (Zugelastizität des Betons), sowie zur Bestimmung der Zugfestigkeit des Betons. Ueber die Bauart der Körper ist in Heft 45 bis 47 der Mitteilungen über Forschungsarbeiten, S. 9 und S. 103 berichtet.

Abb. 11 und 12. Körper der Reihe 5.

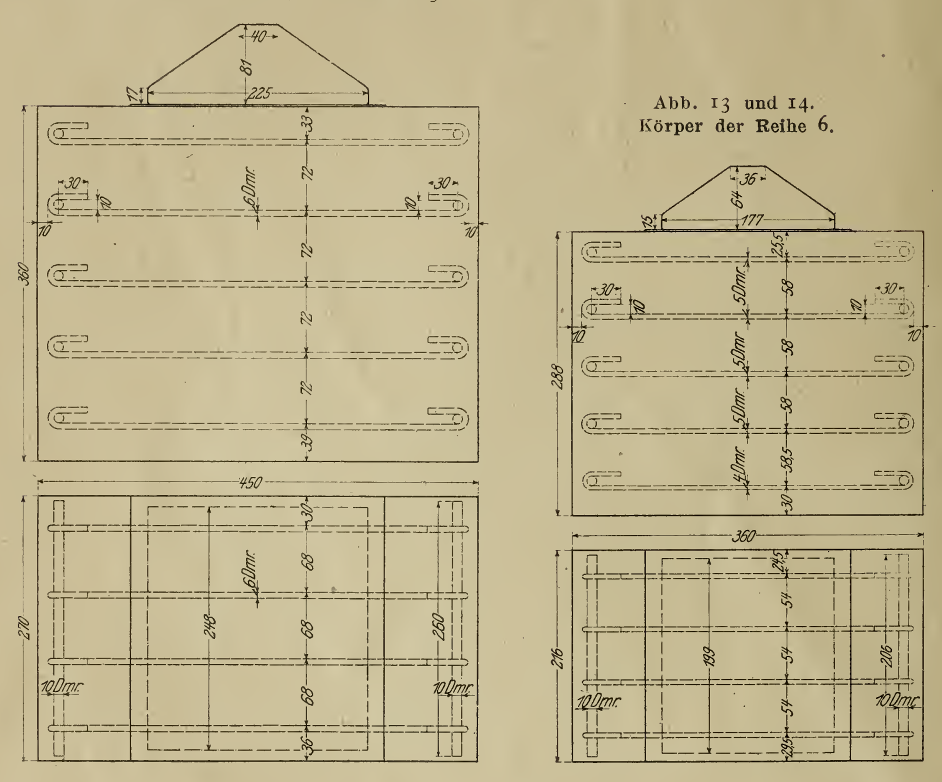


Abb. 13 und 14. Körper der Reihe 6.

II. Materialien der Versuchskörper. Zusammensetzung und Würfelfestigkeit des Betons.

1) Materialien.

Als Betonmaterial wurden verwendet:

Zement von der Firma Dyckerhoff & Söhne, G. m. b. H. in Amöneburg,
Rheinsand von der Firma Kiefer in Knielingen bei Karlsruhe,
Porphyrgrus vom Porphyrwerk in Dossenheim an der Bergstraße.

Das Raumgewicht im Verwendungszustand ergab sich

für 10 Liter Rheinsand zu 13,2 kg,
» 10 » Porphyrgrus » 12,6 » .

Das Eisen war gewöhnliches Handelseisen.

Die Prüfung ergab:

	für 4	5	6	8	10 mm Eisen
die obere Streckgrenze zu	2316	5633	3720[1])	3444[2])	3654 kg/qcm,
» untere » »	—	5571	3695	3433	3612 » ,
» Zugfestigkeit »	3907	6902	4921	4921	5354 » .

2) Zusammensetzung des Betons.

Sie betrug:

1 Raumteil Zement,
1 ½ Raumteile Rheinsand,
2 » Porphyrgrus,
8,4 vH Wasser (Hundertteile vom Gewicht der trockenen Materialien).

Der Wasserzusatz war derart gewählt, daß Stampfbeton entstand.

3) Würfelfestigkeit des Betons.

Im Alter von 28 Tagen wurde ermittelt (Druck senkrecht zur Stampfrichtung):

	das Raumgewicht des Betons	die Würfelfestigkeit
bei Würfel 1[3])	2,35	470 kg/qcm
» » 3	2,35	470 »
» » 6	2,36	473 »
» » 9	2,36	490 »
» » 11	2,35	482 »
» » 14	2,35	489 »
» » 18	2,34	487 »
im Mittel	2,35	**480** kg/qcm.

Es handelt sich also um einen Beton sehr hoher Festigkeit, entsprechend der Bedeutung der Gelenkquader im Brückenbau.

3 Würfel lagern noch in der Versuchsanstalt zur Prüfung in höherem Alter.

III. Herstellung und Lagerung der Versuchskörper.

Die Versuchskörper wurden von den Arbeitern der Materialprüfungsanstalt hergestellt.

Das Mischen des Betons erfolgte in der Maschine »Patent Hüser« nach § 4 der Normen für vergleichende Druckversuche mit Stampfbeton, aufgestellt vom Deutschen Ausschuß für Eisenbeton 1908.

Die Herstellung der Körper nach Abb. 2 bis 14 erfolgte in Formen, deren Seitenwände aus Tannenholz (feucht gehalten und mit Oelüberzug versehen) und deren Grundplatte aus Gußeisen bestanden. Die Grundplatten waren sorgfältig eben gehobelt, sodaß die untere Fläche der Versuchskörper als genau ebene Fläche erzeugt wurde.

Das Stampfen der Körper erfolgte in 6 Schichten in der aus Abb. 2 (rechts) ersichtlichen Weise.

Nach dem Stampfen und Abgleichen der letzten Schicht ist im mittleren Teil der oberen Fläche eine dünne (etwa 3 mm starke) Schicht aus reinem

[1]) Die Einzelwerte schwanken zwischen 2933 und 4767 kg/qcm.

[2]) » » » » 2731 » 4865 » .

[3]) Die Bezeichnung ist bei allen Körpern, also Eisenbetonquader, Würfel, Zug- und Druckkörper, die gleichzeitig hergestellt wurden, die gleiche.

Zement aufgetragen worden, vergl. Abb. 2. Diese Zementschicht wurde nach dem Erhärten eben gehobelt und zwar parallel der unteren Fläche des Körpers; sie hatte den Zweck, der Belastungsplatte eine ebene Auflage zu sichern, die parallel zur unteren Fläche des Körpers verläuft.

Zu den Würfeln wurden die üblichen eisernen Formen benutzt. Das Stampfen geschah gemäß den Normen für vergleichende Druckversuche mit Stampfbeton.

Zur Herstellung der Druck- und Zugkörper dienten liegende Formen aus Tannenholz. Das Einstampfen erfolgte in zwei gleich hohen Schichten.

Alle Versuchskörper wurden nach dem Einstampfen mit nassen Säcken bedeckt. Im Alter von mindestens einem Tag sind die Seitenwände der Formen entfernt und die frei werdenden Seitenflächen mit nassen Säcken bedeckt worden. Nach Verlauf von mindestens 2 weiteren Stunden wurden die Körper von den Grundplatten abgehoben, umgelegt und bis zur Prüfung unter nassen Säcken aufbewahrt[1]).

IV. Durchführung der Versuche.

Die Durchführung der Versuche mit den Körpern nach Abb. 2 bis 14 erfolgte in einer Maschine mit kugelförmig gelagerten Druckplatten, die in der Z. d. V. D. I. 1913, S. 1970 u. f. beschrieben ist. Alter der Versuchskörper am Prüfungstag: 27 und 28 Tage.

Die Belastungsplatten, sämtlich aus Stahlguß, waren an den Druckflächen genau eben und parallel bearbeitet.

Beobachtet wurden an den Körpern nach Abb. 2 bis 14:

1) Die Belastung, unter welcher die ersten Risse sich einstellten (Rißbildungslast),

2) das Fortschreiten der Risse mit steigender Last,

3) die Höchstlast, d. i. diejenige Last, unter welcher die Widerstandsfähigkeit der Körper erschöpft wurde, soweit die Kraft der zur Verfügung stehenden Maschine (500 Tonnen) ausreichend war.

Zum Zwecke des leichteren Auffindens der Risse waren die Körper mit einem dünnen weißen Anstrich versehen worden.

Ueber die Durchführung der Versuche zur Bestimmung der Druck- und Zugelastizität ist bereits unter I, S. 9 und 10 das Erforderliche bemerkt.

V. Versuchsergebnisse.

1) Versuche über die Druckelastizität und Prismenfestigkeit des Betons.

Die Abmessungen der drei bis jetzt geprüften Versuchskörper und die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Zahlentafel 1 niedergelegt.

Hiernach ergab sich die Dehnungszahl der Federung im Alter von 28 Tagen

für die Belastungsstufe 0,1 bis rd. 49,5 kg/qcm zu $^1/_{333000}$ bis $^1/_{338800}$,
» » » 0,1 » » 99 » » $^1/_{312000}$ » $^1/_{318900}$.

Die Druckfestigkeit der Prismen (20 · 20 cm Querschnitt, 80 cm Höhe) betrug im Mittel

$$\frac{405 + 423 + 427}{3} = 418 \text{ kg/qcm.}$$

---

[1]) Eine allerdings nur wenige Stunden währende Unterbrechung dieser Lagerung war bei der Bearbeitung der oberen Druckfläche erforderlich.

Zahlentafel 1.
Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Druckelastizität und Prismenfestigkeit des Betons.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen der Körper			Gewicht der Körper	Belastungsstufen	Zusammendrückungen in $^1/_{1200}$ cm auf die Meßlänge von 50 cm			Dehnungszahl der Federung	Bruchlast	
			Seite a	Seite b	Höhe h			gesamte	bleibende	federnde		P_{max}	$P_{max} : ab$
		Tage	cm	cm	cm	kg	kg/qcm					kg	kg/qcm
9	11. 1. 13	28	20,0	20,2	81,9	78,1	0,1 bis 12,4	2,08	0,03	2,05	1 : 360 000	163 500	405
							0,1 » 24,8	4,39	0,10	4,29	1 : 345 500		
							0,1 » 49,5	9,30	0,40	8,90	1 : 333 000		
							0,1 » 74,3	14,65	0,81	13,84	1 : 321 700		
							0,1 » 99,0	20,24	1,22	19,02	1 : 312 000		
							0,1 » 123,8	26,12	1,83	24,29	1 : 305 600		
							0,1 » 148,5	32,28	2,44	29,84	1 : 298 400		
							0,1 » 173,3	38,68	3,15	35,53	1 : 292 500		
							0,1 » 198,0	45,41	3,96	41,45	1 : 286 500		
11	13. 1. 13	28	20,1	20,3	81,9	78,7	0,1 » 12,3	2,09	0,03	2,06	1 : 355 300	172 400	423
							0,1 » 24,5	4,26	0,06	4,20	1 : 348 600		
							0,1 » 49,0	8,92	0,26	8,66	1 : 338 800		
							0,1 » 73,5	14,03	0,62	13,41	1 : 328 400		
							0,1 » 98,0	19,43	1,01	18,42	1 : 318 900		
							0,1 » 122,5	25,05	1,48	23,57	1 : 311 600		
							0,1 » 147,1	30,85	2,01	28,84	1 : 305 800		
							0,1 » 171,6	36,91	2,57	34,34	1 : 299 700		
							0,1 » 196,1	43,16	3,17	39,99	1 : 294 100		
14	15. 1. 13	28	20,0	20,2	81,9	77,7	0,1 » 12,4	2,10	0	2,10	1 : 351 400	172 400	427
							0,1 » 24,8	4,34	0,03	4,31	1 : 343 900		
							0,1 » 49,5	9,07	0,21	8,86	1 : 334 500		
							0,1 » 74,3	14,32	0,53	13,79	1 : 322 800		
							0,1 » 99,0	19,79	0,91	18,88	1 : 314 300		
							0,1 » 123,8	25,50	1,37	24,13	1 : 307 600		
							0,1 » 148,5	31,40	1,90	29,50	1 : 301 800		
							0,1 » 173,3	37,60	2,54	35,06	1 : 296 400		
							0,1 » 198.0	44,08	3,25	40,83	1 : 290 800		
Durchschnitt:	—	28	20,0	20,2	—	—	—	—	—	—	—	—	418

2) Versuche über die Zugelastizität und Zugfestigkeit des Betons.

Die Abmessungen der Versuchskörper und die Ergebnisse der Prüfung sind in Zahlentafel 2 zusammengestellt.

Hiernach ergab sich die Dehnungszahl der Federung

a) im Alter von 28 Tagen

für die Belastungsstufe 1,2 bis rd. 7,4 kg/qcm zu $^1/_{352400}$ und $^1/_{376200}$,

» » » 1,2 » » 26 » » $^1/_{317300}$ » $^1/_{336300}$;

Zahlen-

Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der

1	2	3	4	5	6	7
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen der Körper			Gewicht der Körper
			Seite *a*	Seite *b*	Länge *L*	
		Tage	cm	cm	cm	kg
					a) Prüfung im Alter	
1	7. 1. 13	27	20,2	19,9	145,2	158,5
5	8. 1. 13	28	20,4	19,8	145,1	153,2
6	10. 1. 13	27	20,2	19,7	145,7	154,6
Durchschnitt:	—	27	20,3	19,8	145,3	—
					b) Prüfung im Alter	
22	20. 1. 13	514	20,3	19,8	145,2	154,3
24	21. 1. 13	514	20,3	19,8	145,2	153,0
26	24. 1. 13	512	20,4	19,9	145,2	154,3
Durchschnitt:	—	513	20,3	19,8	145,2	—

b) im Alter von 513 Tagen

für die Belastungsstufe 1,2 bis rd. 7,5 kg/qcm zu $^1/_{380500}$ bis $^1/_{430600}$,
» » » 1,2 » » 26 » » $^1/_{349200}$ und $^1/_{367400}$;

Die Zugfestigkeit des Betons betrug im Alter von 27 Tagen im Mittel

$$\frac{34{,}6 + 35{,}6 + 35{,}4}{3} = 35{,}2 \text{ kg/qcm},$$

war also sehr hoch[1]).

tafel 2.
Zugelastizität und Zugfestigkeit des Betons.

8	9	10	11	12	13	14
Belastungsstufen	Verlängerungen in $^1/_{1200}$ cm auf die Meßlänge von 45 cm			Dehnungszahl der Federung	Bruchlast	
	gesamte	bleibende	federnde		P_{max}	$P_{max} : ab$ (Zugfestigkeit)
kg/qcm					kg	kg/qcm
von rd. 28 Tagen.						
—	—	—	—	—	13 900	34,6
1,2 bis 3,7	0,41	0,04	0,37	1 : 364 900	14 400	35,6
1,2 » 7,4	1,09	0,14	0,95	1 : 352 400		
1,2 » 11,1	1,77	0,20	1,57	1 : 340 500		
1,2 » 14,9	2,47	0,25	2,22	1 : 333 200		
1,2 » 18,6	3,25	0,38	2,87	1 : 327 400		
1,2 » 22,3	4,04	0,51	3,53	1 : 322 800		
1,2 » 26,0	4,94	0,72	4,22	1 : 317 300		
1,3 » 3,8	0,39	0,04	0,35	1 : 385 700	14 100	35,4
1,3 » 7,5	1,04	0,15	0,89	1 : 376 200		
1,3 » 11,3	1,72	0,30	1,42	1 : 380 300		
1,3 » 15,1	2,41	0,43	1,98	1 : 376 400		
1,3 » 18,8	3,18	0,58	2,60	1 : 363 500		
1,3 » 22,6	4,01	0,72	3,29	1 : 349 600		
1,3 » 26,4	4,91	0,88	4,03	1 : 336 300		
—	—	—	—	—	—	35,2
von rd. 17 Monaten.						
1,2 bis 3,7	0,31	0,02	0,29	1 : 465 500		
1,2 » 7,5	0,86	0,07	0,79	1 : 430 600		
1,2 » 11,2	1,47	0,11	1,36	1 : 397 100		
1,2 » 14,9	2,11	0,15	1,96	1 : 377 400		
1,2 » 18,7	2,78	0,21	2,57	1 : 367 700		
1,2 » 22,4	3,48	0,30	3,18	1 : 360 000		
1,2 » 3,7	0,33	0,03	0,30	1 : 450 000		
1,2 » 7,5	0,90	0,08	0,82	1 : 414 900		
1,2 » 11,2	1,51	0,11	1,40	1 : 385 700		
1,2 » 14,9	2,15	0,14	2,01	1 : 368 100		
1,2 » 18,7	2,81	0,18	2,63	1 : 359 300		
1,2 » 22,4	3,51	0,27	3,24	1 : 353 300		
1,2 » 26,1	4,22	0,37	3,85	1 : 349 200		
1,2 » 3,7	0,38	0,03	0,35	1 : 385 700		
1,2 » 7,4	0,94	0,06	0,88	1 : 380 500		
1,2 » 11,1	1,50	0,08	1,42	1 : 376 500		
1,2 » 14,8	2,08	0,13	1,95	1 : 376 600		
1,2 » 18,5	2,74	0,24	2,50	1 : 373 700		
1,2 » 22,2	3,44	0,39	3,05	1 : 371 800		
1,2 » 25,9	4,16	0,53	3,63	1 : 367 400		
—	—	—	—	—	—	—

[1]) Vergl. hierzu Mitteilungen über Forschungsarbeiten 1909, Heft 72 bis 74, Zusammenstellung 43.

Die Würfelfestigkeit beträgt das $\frac{480}{35,2} = 13,6$ fache der Zugfestigkeit.

3) Versuche mit den unbewehrten Betonquadern 2, 4 und 5, Bauart nach Abb. 7 und 8 (Reihe 3).

Die Abmessungen der Körper sowie die Versuchsergebnisse sind in Zahlentafel 3 niedergelegt. Die Abb. 15 bis 19 zeigen die geprüften Körper.

Zahlentafel 3. Körper der Reihen 1 bis 4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen der Körper: Höhe in der Mitte, bzw. an den Enden der Körper	Breite	Dicke	Durchmesser der Eiseneinlagen	Gewicht der Körper	Gewicht der Eiseneinlagen	Belastung, unter welcher noch kein Riß beobachtet wurde	Risse zuerst beobachtet wurden	Höchstlast
		Tage	cm	cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg	kg
1) Körper der Reihe 1a, Abb. 2 und 3.											
7	10. 1. 13	28	48,2 bzw. 48,0	60,1	36,2	0,78 bis 0,81, im Mittel 0,80	251	9,2	230 000	240 000	(508 000)[1]
8	10. 1. 13	27	48,0 bzw. 48,0	60,0	36,3	0,78 bis 0,80, im Mittel 0,80	251	9,1	220 000	230 000	502 000
11	13. 1. 13	28	48,2 bzw. 47,9	60,2	36,3	0,79 bis 0,81, im Mittel 0,80	252	9,3	250 000	255 000	(510 000)[1]
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	251	9,2	233 333	241 667	(506 667)
2) Körper der Reihe 2, Abb. 5 und 6.											
1	7. 1. 13	27	48,1 bzw. 47,9	59,9	36,2	0,60 bis 0,61, im Mittel 0,60	247	5,3	250 000	280 000	503 000
3	8. 1. 13	28	48,3 bzw. 48,3	60,0	36,3	0,59 bis 0,61, im Mittel 0,60	249	5,3	280 000	284 000	(510 000)[1]
6	10. 1. 13	28	48,2 bzw. 48,1	60,0	36,2	0,59 bis 0,61, im Mittel 0,60	248	5,2	260 000	263 000	501 000
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	248	5,3	263 333	275 667	(504 667)
3) Körper der Reihe 3, Abb. 7 und 8.											
2	7. 1. 13	28	48,2 bzw. 47,8	60,0	36,2	—	245	—	235 000	245 000	500 000
4	8. 1. 13	28	48,1 bzw. 48,0	60,0	36,2	—	245	—	220 000	230 000	458 000
5	8. 1. 13	28	48,1 bzw. 48,0	60,1	36,3	—	245	—	220 000	230 000	478 000
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	245	—	225 000	235 000	478 667
4) Körper der Reihe 4, Abb. 9 und 10.											
13	13. 1. 13	28	48,0 bzw. 47,8	60,0	36,2	0,56 bis 0,62, im Mittel 0,60	249	7,7	240 000	250 000	(510 000)[1]
14	15. 1. 13	28	48,2 bzw. 48,0	60,0	36,2	0,58 bis 0,61, im Mittel 0,60	250	7,6	250 000	260 000	(510 000)[1]
18	17. 1. 13	28	48,2 bzw. 48,1	60,0	36,2	0,58 bis 0,61, im Mittel 0,60	251	7,7	220 000	220 000	(510 000)[1]
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	250	7,7	236 667	243 333	(510 000)
5) Körper der Reihe 1b, Abb. 2 bis 4.											
12	13. 1. 13	28	48,1 bzw. 47,9	60,0	36,2	0,79 bis 0,80, im Mittel 0,80	251	9,2	215 000	225 000	466 000
15	15. 1. 13	27	48,1 bzw. 47,9	60,0	36,2	0,79 bis 0,81, im Mittel 0,80	251	9,2	210 000	220 000	492 000
19	17. 1. 13	28	48,2 bzw. 48,0	60,0	36,2	0,79 bis 0,82, im Mittel 0,80	251	9,2	210 000	217 000	450 000
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	251	9,2	211 667	220 667	469 333

[1]) Nachdem diese Last rd. 3 Minuten gewirkt hatte, war die Widerstandsfähigkeit des Körpers nicht erschöpft. Eine weitere Steigerung der Last erschien mit der zur Verfügung stehenden Maschine nicht angängig.

Abb. 15.



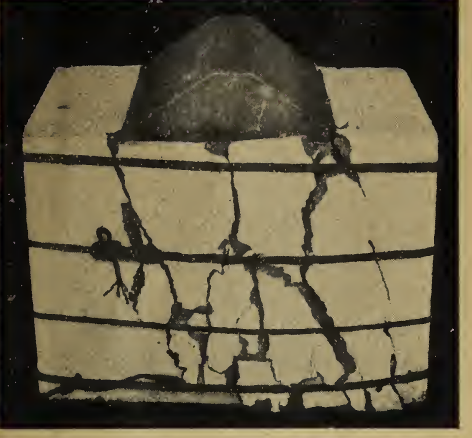


Abb. 16.

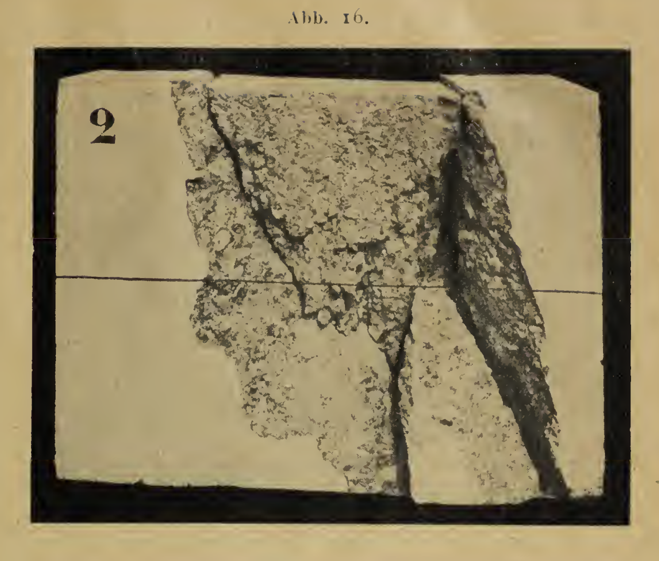


Abb. 17.



Abb. 18.

Abb. 19.



Zur Erläuterung des Prüfungsvorganges und der Ergebnisse wird zunächst der Körper 4, Abb. 17, herausgegriffen.

a) Körper 4.

Herstellungstag:	8. Januar 1913.
Prüfungstag:	5. Februar 1913.
Alter:	28 Tage.
Höhe:	48,0 cm.
Breite:	60,0 cm.
Dicke:	36,2 cm.
Gewicht:	245 kg.

Vor Beginn des Versuchs bestand die Belastung des Körpers aus dem Gewicht der eisernen Belastungsplatte, $G = 58{,}1$ kg.

Die Belastung geschah folgendermaßen.

Zunächst erfolgte Belastung mit $P = 150\,000$ kg. Unter dieser Last wurden die Flächen des Körpers nach Rissen abgesucht. Es waren keinerlei Risse wahrzunehmen. Nachdem $P = 150\,000$ kg 1 Minute gewirkt hatte, wurde die Belastung allmählich auf $P = 200\,000$ kg gesteigert. Auch unter dieser Last fanden sich keine Risse. Nach 3 Minuten erfolgte weitere Steigerung der Last auf $P = 210\,000$ kg, sodann auf $P = 220\,000$ kg, jeweils nach Absuchen der Flächen, was in der Regel mehrere Minuten erforderte. Unter $P = 230\,000$ kg wurden die ersten Risse auf der einen Breitseite festgestellt; Abb. 20 zeigt die Lage dieser Risse. Die Risse klafften unter der Last deutlich in mittlerer Höhe des Körpers und wurden nach oben und unten hin außerordentlich fein. Der Verlauf der Risse führt außerdem deutlich vor Augen, daß die ersten Risse aufgetreten sind infolge Zugspannungen senkrecht zur Richtung der Belastung, in genau gleicher Weise, wie dies s. Zt. bei den Versuchen mit Granitquadern und Sandsteinquadern festzustellen war[1]).

Nachdem $P = 230\,000$ kg einige Zeit gewirkt hatte, ist auch auf der anderen Breitseite ein Riß aufgetreten, ähnlich wie in Abb. 20 dargestellt.

Hierauf folgte $P = 250\,000$ kg, Abb. 21. Gegen die obere und untere Fläche des Körpers hin haben sich die Risse verlängert und es sind als Fortsetzung neue feine Risse aufgetreten.

Unter $P = 300\,000$ kg, Abb. 22, hat ein Riß nahezu die obere Fläche erreicht.

Unter $P = 350\,000$ kg, Abb. 23, erscheint links von der Belastungsplatte von der oberen Fläche kommend, ein kurzer feiner Riß bei *a*, ferner ein senkrechter Riß im mittleren Teil der Breitseite.

Unter $P = 400\,000$ kg, Abb. 24, vermehren sich die Risse erheblich. Der zuerst aufgetretene Riß hat bei *b* die obere Fläche und bei *c* die untere Fläche erreicht. Von der oberen Fläche ausgehend erscheinen die Risse *d*, *e*, *f* und *g*.

Unter $P = 450\,000$ kg, Abb. 25, sind zahlreiche neue Risse aufgetreten. In dieser Darstellung sind ferner die Belastungen in Tonnen eingetragen, bei denen die einzelnen Risse aufgetreten sind und sich fortgesetzt haben.

Abb. 26 zeigt die andere Breitseite unter $P = 450\,000$ kg. Die Rißentwicklung ist ganz ähnlich wie in Abb. 20 bis 25.

---

[1]) Vergl. C. Bach, Mitteilungen über Forschungsarbeiten 1904, Heft 17, S. 73, Abb. 3; Heft 20, S. 11, Abb. 4.

Bei weiterer Steigerung der Belastung erfolgt unter $\underline{P_{max} = 458\,000 \text{ kg}}$ die Zerstörung des Körpers. Wie aus Abb. 17 und noch deutlicher aus Abb. 15, 16, 18 und 19, welche die beiden anderen Körper der Reihe 3 zeigen, ersichtlich, erfolgte der Bruch in der Weise, daß von der Druckplatte aus ein Keil in den Versuchskörper getrieben und so das umliegende Material weggesprengt wurde, ganz wie das aus früheren Versuchen mit Sandsteinwürfeln bekannt ist[1]).

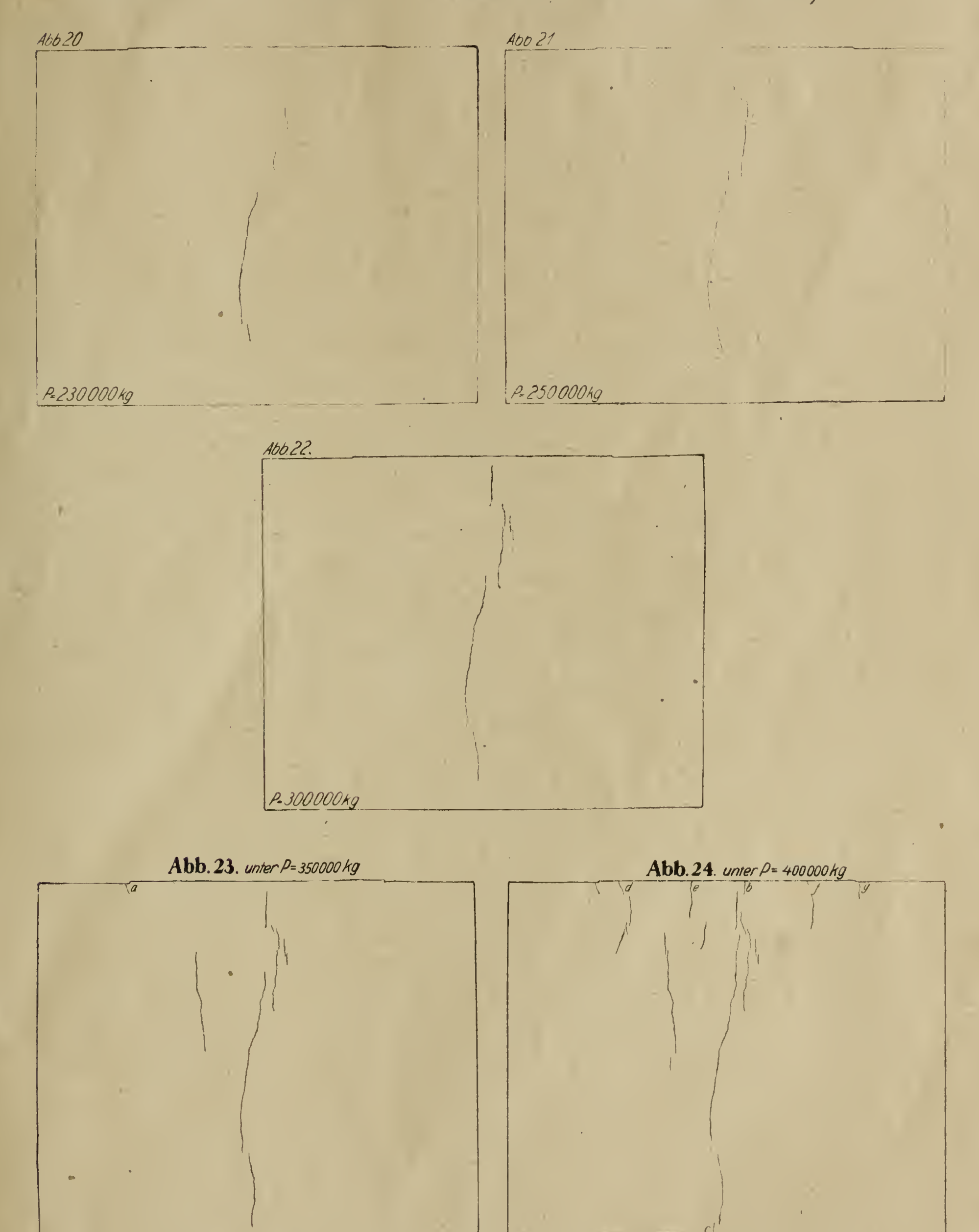


Abb. 20 bis 24. Körper 4 der Reihe 3, Bauart nach Abb. 7 und 8.

[1]) Vergl. C. Bach, Elastizität und Festigkeit, 6. Aufl. S. 180 und Tafel VI, Fig. 16; 7. Aufl. S. 209 und Tafel IX, Fig. 21; 8. Aufl. S. 217 und Tafel IX, Fig. 25.

Daraus, sowie aus der Betrachtung der in Abb. 17 bloßgelegten Bruchstücke ist zu erkennen, daß die zuerst aufgetretenen Risse, Abb. 20, sich nicht durch die ganze Dicke des Körpers gebildet haben, sondern nur in dem Material, das beim Bruch durch den Keil weggesprengt wurde. Eine Bewehrung, welche der bezeichneten Zerstörung entgegenwirken soll, hätte demnach den Grundsätzen zu entsprechen, die für Eisenbetonsäulen maßgebend sind.

b) Rißbildungslast und Höchstlast der Körper 2, 4 und 5 der Reihe 3 (ohne Bewehrung).

Die ersten Risse wurden beobachtet

beim Körper	2	unter	$P = 245\,000$ kg,
»	»	4	»	$P = 230\,000$ »,
»	»	5	»	$P = 230\,000$ »,
im Mittel unter				$P = 235\,000$ kg.

Abb. 25. *Körper 4 der Reihe 3 unter P = 450000 kg*

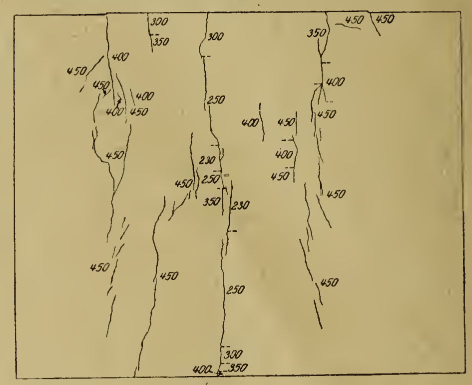


Abb. 26. *Körper 4 der Reihe 3 unter P = 450000 kg*

Die Höchstlast ergab sich

beim Körper	2	zu	$P = 500\,000$ kg,
»	»	4		$P = 458\,000$ »,
»	»	5	»	$P = 478\,000$ »,
im Mittel				$P = 478\,667$ kg.

Das Verhältnis der Höchstlast zur Rißbildungslast beträgt hiernach

$$478\,667 : 235\,000 = 1 : \mathbf{0{,}49}.$$

Die Belastung auf 1 qcm des Gesamtquerschnitts $F = 36{,}2 \cdot 60$ qcm der Versuchskörper beträgt
unter der Rißbildungslast

$$k = \frac{235\,000}{36{,}2 \cdot 60} = 108 \text{ kg/qcm},$$

unter der Höchstlast

$$k = \frac{478\,667}{36{,}2 \cdot 60} = 220 \text{ kg/qcm}.$$

Wird die Beanspruchung auf 1 qcm der oberen Druckfläche $f = 30 \cdot 32{,}9$ qcm bezogen, so ergibt sich

unter der Rißbildungslast

$$k = \frac{235\,000}{30 \cdot 32{,}9} = 238 \text{ kg/qcm},$$

unter der Höchstlast

$$k = \frac{478\,667}{30 \cdot 32{,}9} = 485 \text{ kg/qcm}.$$

Die Würfelfestigkeit, ermittelt an Körpern von 30 cm Kantenlänge, ist zu 480 kg/qcm ermittelt worden. Ein unmittelbarer Vergleich mit den Belastungen der Gelenkquader ist aber zunächst nicht angängig, weil die Würfel erheblich kleiner sind als die Versuchskörper und die Festigkeit des Betons, namentlich des Stampfbetons, bekanntlich von der Größe der Versuchskörper abhängig ist[1]).

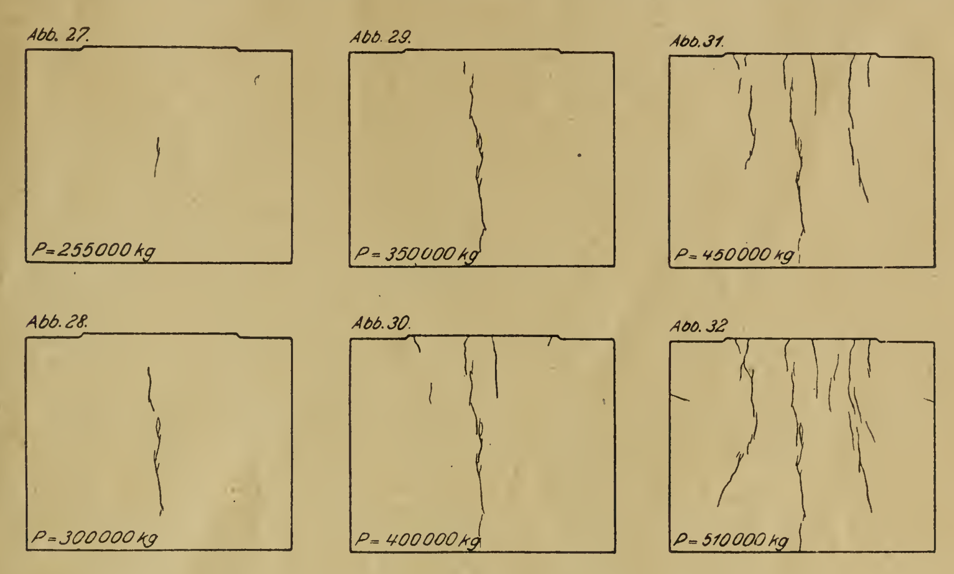


Abb. 27 bis 32. **Körper 11 der Reihe 1 a, Bauart nach Abb. 2 und 3.**

4) Versuche mit den Eisenbetonquadern 7, 8 und 11, Bauart nach Abb. 2 und 3, Reihe 1a; 1, 3 und 6, Bauart nach Abb. 5 und 6, Reihe 2; 13, 14 und 18, Bauart nach Abb. 9 und 10, Reihe 4.

a) Rißbildungslast.

Die ersten Risse wurden beobachtet

bei den Körpern 7, 8 und 11 der Reihe 1 a unter $P = (240\,000 + 230\,000 + 255\,000) : 3 = 241\,667$ kg,

» » » 1, 3 » 6 » » 2 » $P = (280\,000 + 284\,000 + 263\,000) : 3 = 275\,667$ kg,

» » » 13, 14 » 18 » » 4 » $P = (250\,000 + 260\,000 + 220\,000) : 3 = 243\,333$ kg,

im Mittel zu 253 556 kg,

gegenüber $P = 235\,000$ kg bei den Körpern ohne Einlagen (Reihe 3), also im Durchschnitt um $253\,556 - 235\,000 = 18556$ kg oder $\frac{18556}{235\,000}\,100 = 8$ vH höher als bei den Körpern ohne Einlagen.

---

[1]) Für die Bemessung des Bauwerks war die zulässige Last zu 75 kg/qcm gewählt.

Bei Reihe 4 ist zu bemerken, daß die Verdichtung des Betons durch das Stampfen bei netzartig angeordneten Einlagen nicht so vollkommen zu erwarten ist, wie beim Vorhandensein von Einlagen lediglich in einer Richtung, Reihe 1 und 2.

Im ganzen betrachtet zeigen die Ergebnisse, daß mit einer wesentlichen Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Rißbildung durch Eiseneinlagen gemäß Abb. 2, 3, 5, 6, oder 9 und 10 nicht gerechnet werden kann.

Wird die Belastung auf 1 qcm der oberen Druckfläche bezogen, so ergibt sich

bei den Körpern der Reihe 1a $k = \frac{241\,667}{30 \cdot 32{,}9} = 245$ kg/qcm,

» » » » » 2 $k = \frac{275\,667}{30 \cdot 32{,}9} = 279$ » ,

» » » » » 4 $k = \frac{243\,333}{30 \cdot 32{,}9} = 247$ » ,

während bei Reihe 3 festgestellt war (S. 21):

$$k = 238 \text{ kg/qcm}.$$

b) Erscheinungen bei der Rißbildung an den Körpern der Reihen 1a, 2 und 4.

Fortschreiten der Risse mit steigender Last.

Zur Erläuterung der Beobachtungen sei zunächst Körper 11 der Reihe 1a (Bauart nach Abb. 2 und 3) herausgegriffen.

Unter $P = 255\,000$ kg trat der erste Riß auf der einen Breitseite an der in Abb. 27 ersichtlichen Stelle ein. Der Riß verläuft wie bei den unbewehrten Körpern senkrecht und im mittleren Teil der Fläche.

Unter $P = 260\,000$ kg zeigte sich ein zweiter ähnlich verlaufender Riß auf der gegenüberliegenden Fläche.

Unter $P = 300\,000$ kg, Abb. 28, hatte sich der Riß bedeutend verlängert.

Unter $P = 350\,000$ kg, Abb. 29, war der Riß an beiden Enden vorgeschritten.

Unter $P = 400\,000$ kg, Abb. 30, hatte der Riß die beiden Druckflächen erreicht. Außerdem hatten sich von der oberen Fläche, Abb. 35, ausgehend, neue Risse gebildet.

Mit steigender Last verlängerten und vermehrten sich die Risse, wie die Abb. 31 und 32 erkennen lassen.

In den photographischen Abbildungen Abb. 34 und 35 ist der Körper 11 im Zustand am Schluß des Versuchs dargestellt, nachdem $P = 510\,000$ kg rund 3 Minuten gewirkt hat. Unter dieser Last war der Körper noch nicht zerstört; eine weitere Steigerung der Last erschien aber mit der zur Verfügung stehenden Maschine nicht angängig. In den Abb. 33 und 34 sind ferner die Körper 7 und 8 der Reihe 1 wiedergegeben.

Zur weiteren Klarstellung ist in den Abb. 36 bis 41 die Entwicklung der Risse am Körper 6 der Reihe 2 (Bauart nach Abb. 5 und 6) dargestellt. Wesentliche Unterschiede sind gegenüber Abb. 27 bis 32, giltig für Körper 11 der Reihe 1, nicht zu erkennen.

Werden die Darstellungen in Abb. 27 bis 32 und 36 bis 41 ferner verglichen mit Abb. 20 bis 26, giltig für Körper ohne Eiseneinlagen, so ist hervor-

zuheben, daß bis gegen $P = 450000$ kg erhebliche Unterschiede nicht zu erkennen sind. Der Einfluß der Eiseneinlagen auf die Rißbildung erscheint hiernach nicht deutlich ausgeprägt, wie nach dem S. 20 unter 3a Gesagten zu erwarten stand.

Die Abb. 42 bis 46 zeigen die Körper 1, 3 und 6 der Reihe 2 im Zustand am Schluß des Versuchs; die Abb. 47 bis 49 geben die Körper 13, 14 und 18 der Reihe 4 wieder.

Abb. 33.

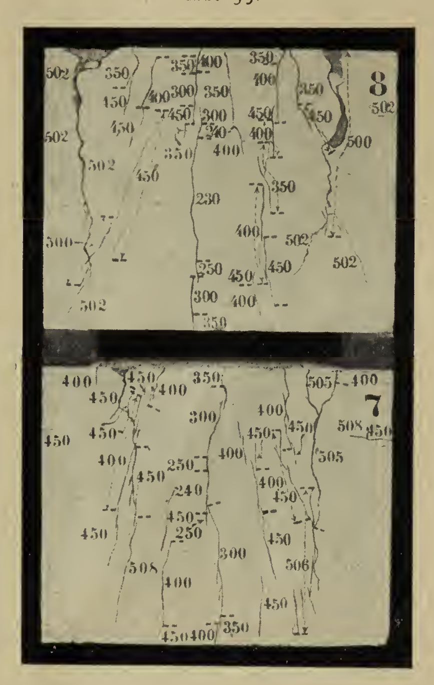


Abb. 34.



c) Höchstlast der Körper der Reihen 1a, 2 und 4.

Wie schon unter b) bemerkt, konnte ein Teil der Körper nicht völlig zerstört werden, weil die vorhandene Maschine, deren Höchstbeanspruchung 500 t betragen soll, nicht ausreichte[1]). Im folgenden werden deshalb die Höchstlasten der Körper, die nicht zerstört werden konnten, in Klammern angegeben (vergl. auch Zahlen-

Abb. 35.



[1]) Die Beschaffung einer stärkeren Maschine ist seit 1912 beabsichtigt, mußte jedoch infolge Kriegsausbruches unterbleiben. Nach deren Beschaffung werden dann die nicht zerstörten Körper einer nochmaligen Prüfung unterworfen werden.

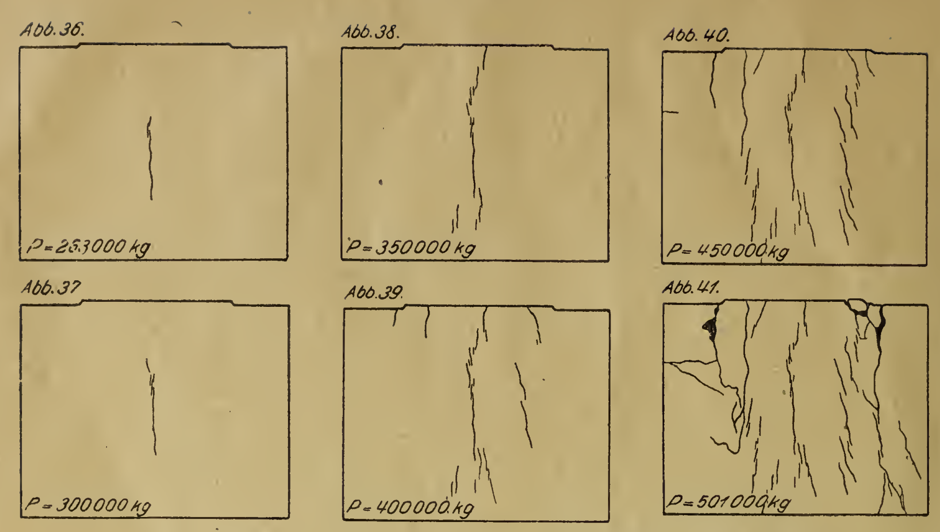


Abb. 36 bis 41. Körper 6 der Reihe 2, Bauart nach Abb. 5 und 6.

tafel 3, Spalte 12), während die Bruchlasten der zerstörten Körper in der üblichen Weise eingetragen sind.

Die Höchstlast wurde ermittelt

bei den Körpern 7, 8 und 11 der Reihe 1 a zu

$$P = (508\,000) + 502\,000 + (510\,000) : 3$$
$$= (506\,667)\ \text{kg},$$

bei den Körpern 1, 3 und 6 der Reihe 2 zu

$$P = 503\,000 + (510\,000) + 501\,000 : 3$$
$$= (504\,667)\ \text{kg},$$

bei den Körpern 13, 14 und 18 der Reihe 4 zu

$$P = (510\,000) + (510\,000) + (510\,000) : 3$$
$$= (510\,000)\ \text{kg}.$$

Abb. 42.



Abb. 43.



Hiernach sind von Reihe 1 der Körper 8, von Reihe 2 die Körper 1 und 6 zerstört worden, während die Prüfmaschine bei 2 Körpern der Reihe 1a, einem Körper der Reihe 2 und allen 3 Körpern der Reihe 4 nicht ausreichte.

Die kleinste Höchstlast lieferten die Körper der Reihe 2 (6 mm Längseinlagen), dann folgten die Körper der Reihe 1a (8 mm Längseinlagen) und schließlich die Körper der Reihe 4 (6 mm Längs- und Quereinlagen).

Abb. 44.

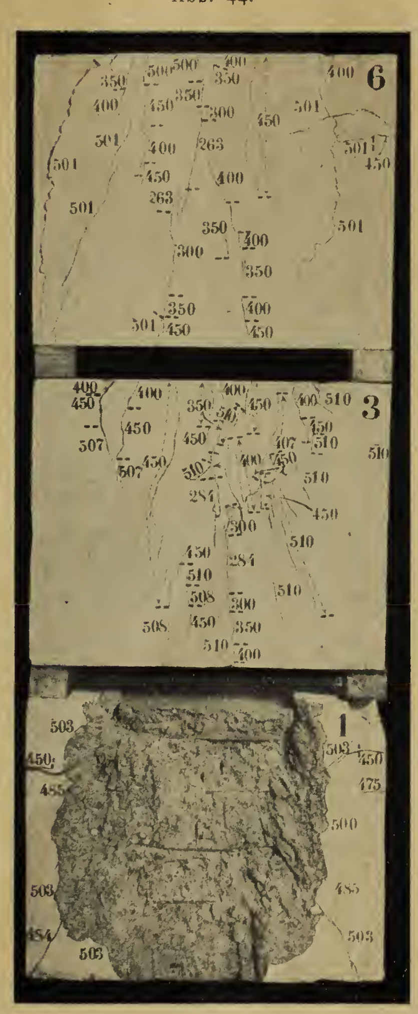
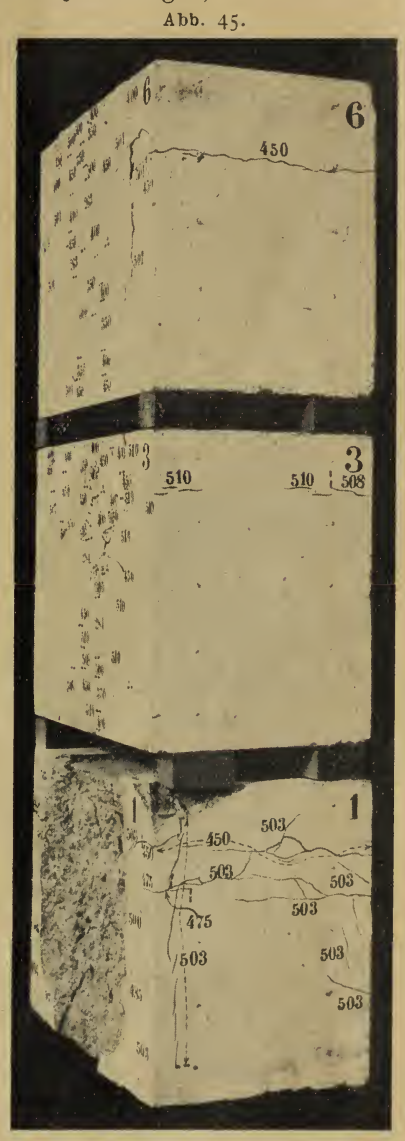


Abb. 45.



Werden die Höchstlasten mit der Bruchlast der unbewehrten Körper der Reihe 3 verglichen, so ergibt sich

bei Reihe 1a ein Mehr von 506667 — 478667 = 28000 kg, somit auf 1 kg Eisen

$$\text{ein Mehr von } \frac{28\,000}{9{,}2} = 3040 \text{ kg},$$

bei Reihe 2 ein Mehr von 504667 — 478667 = 26000 kg, somit auf 1 kg Eisen

$$\text{ein Mehr von } \frac{26\,000}{5{,}3} = 4910 \text{ kg},$$

Abb. 46.

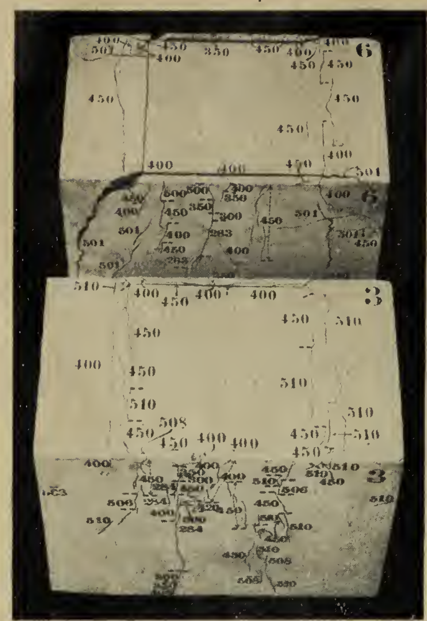
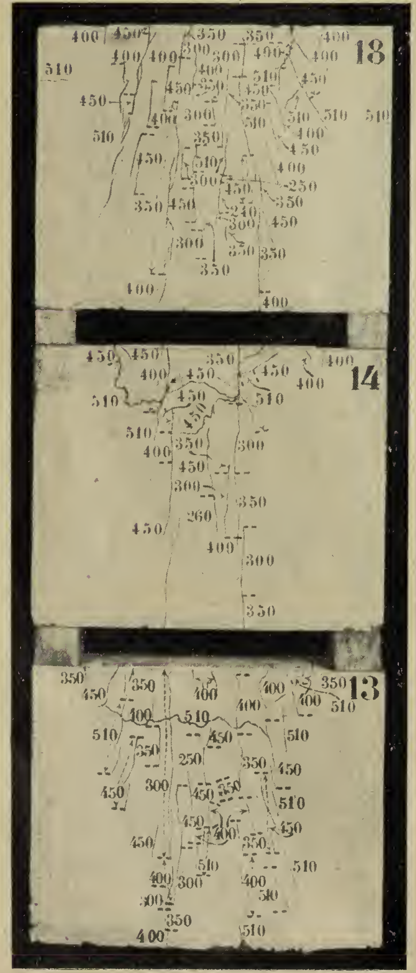


Abb. 47.



bei Reihe 4 ein Mehr von 510000 — 478667 = 31333 kg, somit auf 1 kg Eisen

ein Mehr von $\frac{31\,333}{7{,}7} = 4070$ kg.

Bedeutend erscheint hiernach der Einfluß der Bewehrung auf die Höchstlast nicht.

Abb. 48.



Das Verhältnis der Höchstlast zur Belastung bei Beobachtung der ersten Risse beträgt bei den Körpern, die mit der benutzten Prüfmaschine zerstört werden konnten, nämlich

Körper 8 der Reihe 1a	502000 : 230000 = 1 : 0,46	im Mittel 1 : 0,51,
1 2	503000 : 280000 = 1 : 0,56	
6 2	501000 : 263000 = 1 : 0,52	

gegenüber

Reihe 3 (ohne Bewehrung) 478667 : 235000 = 1 : 0,49.

Ausgeprägter Einfluß der Bewehrung ist aus diesen Zahlen nicht zu erkennen.

Wenn nach den Erfahrungen bei diesen Versuchen die Frage aufgeworfen wird, ob es zweckmäßig ist, die Auflagerquader für Brückengelenke durch Eiseneinlagen zu bewehren, so ist folgendes zu beachten:

Beton ohne Eiseneinlagen kann als Stampfbeton hergestellt werden, d. h. der Wasserzusatz wird so gewählt, daß eine etwa erdfeuchte Masse entsteht, die sich durch kräftiges Stampfen verdichten läßt. Sind Eiseneinlagen vorhanden,

Abb. 49.



so muß der Beton in der Regel weicher, also mit größerem Wasserzusatz angemacht werden, weil die Eiseneinlagen das Stampfen nur in beschränktem Maße oder überhaupt nicht zulassen. Die Festigkeit des Betons nimmt aber mit Zunahme des Wasserzusatzes erheblich ab, wie durch zahlreiche Versuche festgestellt ist (vergl. unter anderem C. Bach, »Mitteilungen über die Druckelastizität und Druckfestigkeit von Betonkörpern mit verschiedenem Wasserzusatz«, II. Teil 1906, S. 3 und 4, sowie O. Graf, Armierter Beton 1914, S. 199 bis 202). Der hieraus entstehende Verlust an Widerstandsfähigkeit des Betons im bewehrten Körper ist größer, als der entgegenwirkende Einfluß einer Bewehrung, wie sie bei den vorliegenden Versuchen Anwendung fand. Infolgedessen wurde beim Neubau der Eisenbahnbrücke über den Neckar bei Cannstatt auf Eiseneinlagen in den Gelenkquadern verzichtet.

5) Versuche mit den Eisenbetonquadern 12, 15 und 19, Bauart nach Abb. 2 bis 4, Reihe Ib.

Während die Belastungsplatten bei den bisher beschriebenen Versuchen verhältnismäßig stärker waren als bei der Bauausführung, sind bei der Prüfung der Körper 12, 15 und 19 schwächere Platten verwendet worden, die den beim Bau benützten ähnlich sind.

a) Rißbildungslast.

Die ersten Risse wurden beobachtet

beim Körper	12	unter	$P = 225000$ kg,
» »	15		$P = 220000$ » ,
» »	19	»	$P = 217000$ » ,
im Mittel unter			$P = 220667$ kg,
gegenüber			$P = 241667$ kg bei den Körpern der

Reihe Ia mit starken Belastungsplatten, entsprechend den Verhältniszahlen

$$220667 : 241667 = \underline{0{,}91 : 1}$$

Hiernach ist die Rißbildungslast durch Verwendung schwächerer Belastungsplatten um 9 vH vermindert worden. Hierauf wird unter b) und c) näher eingegangen.

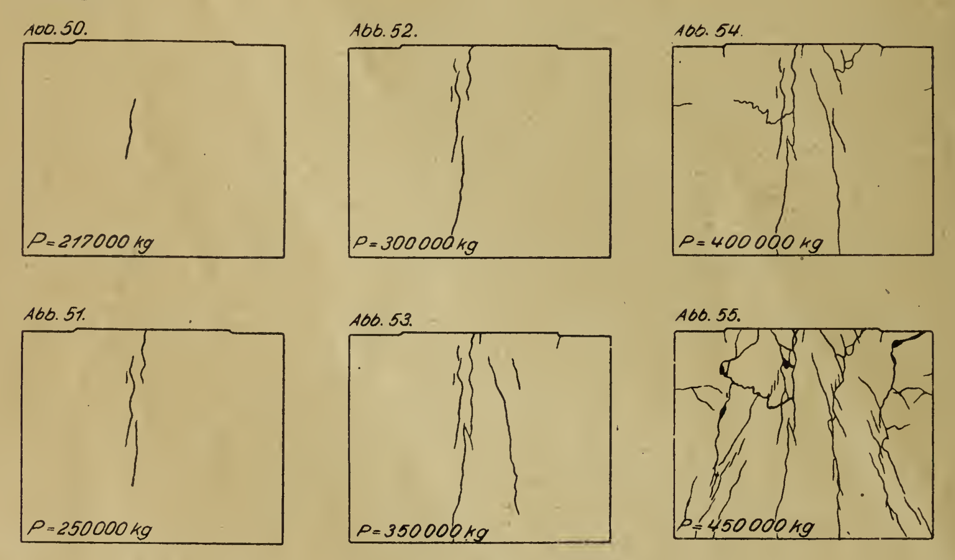


Abb. 50 bis 55. Körper 19 der Reihe Ib, Bauart nach Abb. 2 bis 4.

b) Erscheinungen bei der Rißbildung an den Körpern der Reihe Ib. Fortschreiten der Risse mit steigender Last. Verhalten der Belastungsplatten.

Die Abb. 50 bis 55 zeigen die Entwicklung der Risse auf einer Breitseite am Körper 19. Hieraus ist ersichtlich, daß der senkrechte Riß bereits unter $P = 250000$ kg die obere Druckfläche erreicht hat.

In den Abb. 56 bis 58 sind die Körper 12, 15 und 19 im Zustand am Ende des Versuchs photographisch dargestellt; auch diese Bilder zeigen das rasche Fortschreiten der ersten Risse auf der Breitseite gegen die obere Druckfläche hin. Auch die Risse auf der oberen Fläche außerhalb der Druckfläche sind früher aufgetreten als bei den Körpern mit starker Belastungsplatte. Der

Abb. 56.



Grund hierfür ergibt sich aus der Beobachtung, daß die ursprünglich ebenen Druckplatten am Ende der Versuche stark gekrümmt waren, wie aus den Abb. 59 bis 65 hervorgeht, während bei den starken Belastungsplatten der anderen Versuchsreihen eine bleibende Formänderung mit dem Lineal nicht nachzuweisen war. Die Ueberanstrengung der schwachen Belastungsplatten bei Reihe 1 b ergibt sich noch aus der Beobachtung, daß sich längst vor Erreichung der Höchstlast bei $a - a$, Abb. 60, Zunder löste, d. h. die Quetschgrenze des Stahlgußmaterials war an diesen

Abb. 57.

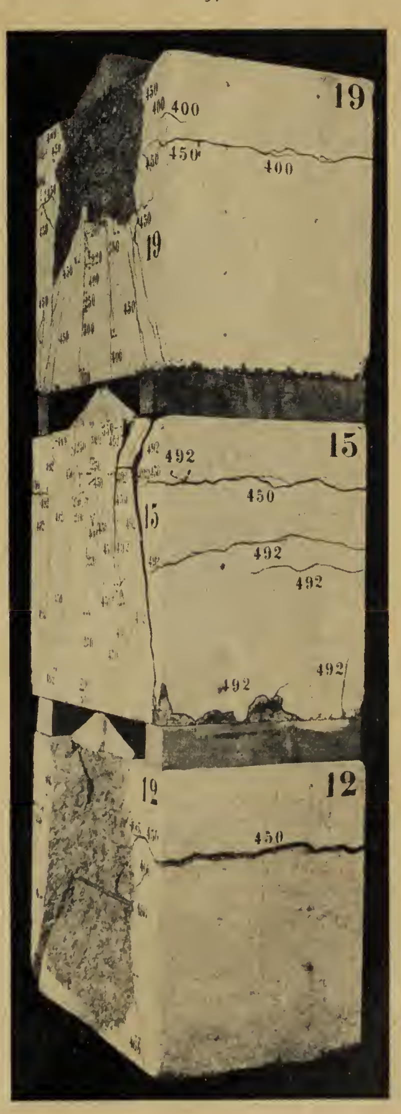


Abb. 58.



Stellen überschritten worden, nämlich

bei der Platte des Körpers 12 unter $P = 390000$ kg,
» » » » 15 » $P = 400000$ » ,
» » » » 19 » $P = 290000$ » .

Abb. 59.

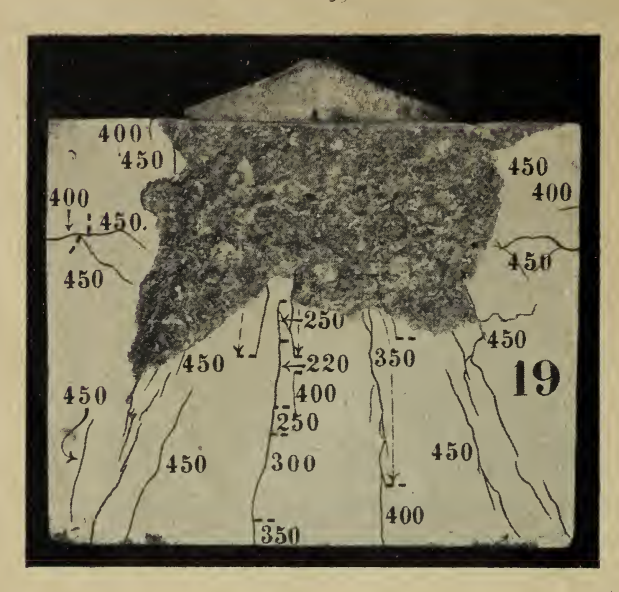


Abb. 60. Platte zu Körper 12. Abb. 61.

a a
68,7
68,1
2,6
3,2
0,4

Abb. 62. Platte zu Körper 15. Abb. 63.

69,0
69,4
2,2
1,8
0,3

Abb. 64 Platte zu Körper 19. Abb. 65.

68,8
68,6
2,7
2,9
0,4

Abb. 60 bis 65. Platten zu Reihe 1b nach dem Versuch.

Infolge des Nachgebens (Abbiegens) der Belastungsplatten konzentrierte sich die Kraft nach der Mitte des Körpers[1]); infolgedessen ist die Rißbildungslast kleiner ausgefallen als bei Reihe 1a und namentlich das Fortschreiten der Rißbildung beschleunigt worden.

c) Höchstlast der Körper der Reihe 1b.

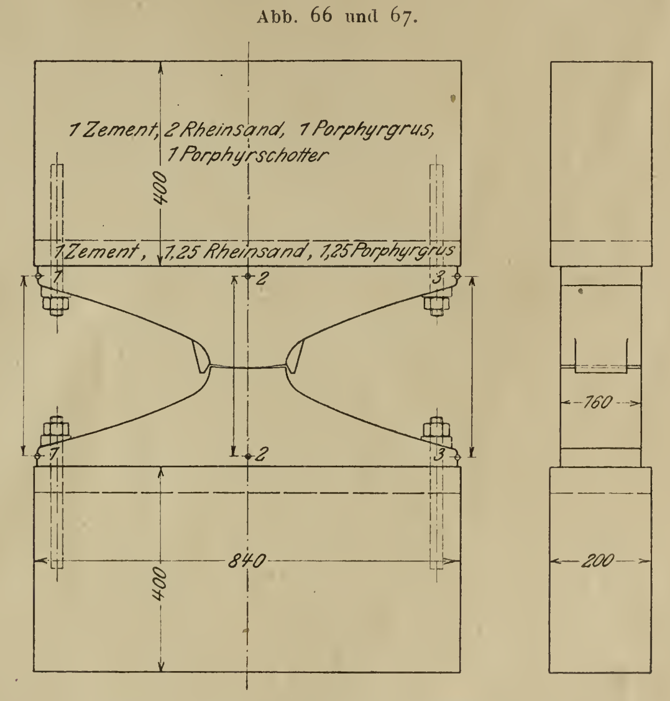
Die Höchstlast wurde ermittelt

beim Körper 12 zu $P = 466000$ kg,
» » 15 » $P = 492000$ »,
» » 19 » $P = 450000$ »,

im Mittel zu $P = 469333$ kg,
gegenüber $P = 506667$ kg bei Reihe 1a, wobei

[1]) Ein anschauliches Bild dieser Verhältnisse geben die Beobachtungen bei Versuchen, die Ende 1913 für die Generaldirektion der württembergischen Staatseisenbahnen mit Körpern nach Abb. 66 und 67 zur Durchführung gelangt sind. Unter verschiedenen Belastungen wurden dabei

Abb. 66 und 67.



die Aenderungen der Strecken 1 — 1, 2 — 2 und 3 — 3 gemessen. Es ergab sich

unter $P =$	150000	250000	350000 kg
bei den Meßstrecken 1 — 1 und 3 — 3 (Mittelwerte)			
die gesamte Verkürzung zu	0,50	1,01	1,78 mm,
» bleibende » »	0,05	0,13	0,28 »,
» federnde » »	0,45	0,88	1,50 »,
bei der Meßstrecke 2 — 2			
die gesamte Verkürzung zu	0,13	0,16	0,18 mm,
» bleibende » »	0,02	0,02	0,02 »,
» federnde » »	0,11	0,14	0,16 ».

Die Verkürzungen sind hiernach an den Enden der Belastungsplatten (Meßstrecken 1 — 1 und 3 — 3) bedeutend größer ausgefallen, als in der Mitte (Meßstrecke 2 — 2), d. h. die Belastungsplatten haben sich erheblich gekrümmt. Diese Formänderungen nahmen überdies wesentlich rascher zu als die Belastungen. Die Krümmung der Belastungsplatten gibt ferner an, daß die Zusammendrückung der Betonquader in der Mitte viel größer sein muß als unter den Rändern der Belastungsplatten, und daß dieser Unterschied mit steigender Last wächst, d. h. die Druckkraft konzentriert sich mit steigender Last mehr und mehr nach der Mitte der Belastungsfläche.

zu beachten ist, daß zwei Körper der Reihe 1a mit der vorhandenen Prüfmaschine nicht zerstört werden konnten (vergl. Zahlentafel 3 und S. 23).

Das Verhältnis zwischen Höchstlast und Rißbildungslast beträgt

$$469\,333 : 220\,667 = 1 : \underline{0{,}47}.$$

6) Versuche mit den Eisenbetonquadern.
9, 16 und 20, Bauart nach Abb. 11 und 12, Reihe 5,
10, 17 » 21, » » » 13 » 14, » 6.

a) Rißbildungslast.

Die ersten Risse wurden beobachtet (vergl. Zahlentafel 4) bei den Körpern 9, 16, und 20 der Reihe 5 unter

$$P = (170\,000 + 160\,000 + 170\,000) : 3 = \underline{166\,667 \text{ kg}},$$

» » » 10, 17 und 21 der Reihe 6 unter

$$P = (130\,000 + 130\,000 + 130\,000) : 3 = \underline{130\,000 \text{ kg}}.$$

Der Vergleich mit den Körpern der Reihe 1a ergibt folgendes.

	Reihe 1a Abb 2 und 3	Reihe 5 Abb. 11 und 12	Reihe 6 Abb 13 und 14
Belastungsfläche $f =$	$30 \cdot 32{,}9 = 987$	$22{,}5 \cdot 24{,}8 = 558$	$17{,}7 \cdot 19{,}9 = 352$ qcm
Rißbildungslast $P =$	241 667	166 667	130 000 kg,
somit $P : f =$	245	299	369 kg/qcm
entsprechend den Verhältniszahlen	1	1,22	1,51,
(bzw.	0,66	0,81	1).

Zahlentafel 4.

Körper der Reihen 5 und 6, Bauart nach Abb. 11 bis 14.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			Abmessungen der Körper						Belastung, unter welcher		
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Höhe in der Mitte, bzw. an den Enden der Körper	Breite	Dicke	Durchmesser der Eiseneinlagen	Gewicht der Körper	Gewicht der Eiseneinlagen	noch kein Riß beobachtet wurde	Risse zuerst beobachtet wurden	Höchstlast
		Tage	cm	cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg	kg
			1) Körper der Reihe 5, Abb 11 und 12.								
9	11. 1. 13	27	36,1 bzw. 36,1	45,0	27,2	0,57 bis 0,61, im Mittel 0,60	106	3,9	170 000	170 000	320 000
16	15. 1. 13	28	36,2 bzw. 36,0	45,0	27,1	0,58 bis 0,60, im Mittel 0,59	107	4,0	150 000	160 000	320 000
20	17. 1. 13	28	36,3 bzw. 36,2	45,0	27,2	0,57 bis 0,60, im Mittel 0,59	107	4,0	160 000	170 000	312 000
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	—	4,0	160 000	166 667	317 333
			2) Körper der Reihe 6, Abb. 13 und 14.								
10	11. 1. 13	28	28,9 bzw. 28,8	36,0	21,8	0,50 (16 Stäbe) 0,41 (4 »)	55	2,6	125 000	130 000	220 000
17	15. 1. 13	28	29,0 bzw. 28,9	36,0	21,7	0,50 (16 ») 0,42 (4 »)	56	2,6	125 000	130 000	230 000
21	17. 1. 13	28	29,2 bzw. 29,0	36,1	21,7	0,50 (16 ») 0,40 (4 »)	56	2,6	125 000	130 000	220 000
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	—	2,6	125 000	130 000	223 333

Hiernach sind die spezifischen Belastungen der oberen Druckflächen mit Abnahme der Körpergröße erheblich gewachsen. Das Mehr beträgt bei Reihe 6 gegen Reihe 1a 51 vH. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der früheren Feststellung, daß die Druckfestigkeit des Betons, insbesondere des Stampfbetons, abhängig ist von der Größe der Versuchskörper[1]).

b) Erscheinungen bei der Rißbildung der Körper der Reihen 5 und 6. Fortschreiten der Risse mit steigender Last.

Die Erscheinungen bei der Rißbildung waren ganz ähnlich, wie bei den Versuchen der Reihe 1a. Zur Erläuterung sei auf Abb. 68 bis 72 (Entwicklung der Risse am Körper 16 der Reihe 5), sowie auf die photographischen Abb. 73 und 74 (Reihe 5) und 75 bis 79 (Reihe 6) verwiesen.

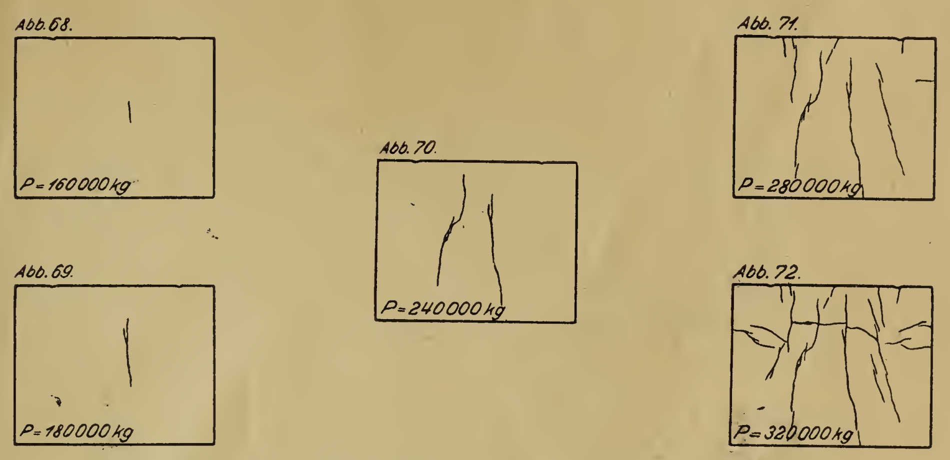


Abb. 68 bis 72. Körper 16 der Reihe 5, Bauart nach Abb. 11 und 12.

c) Höchstlasten der Körper der Reihen 5 und 6.

Sie wurden ermittelt

bei den Körpern 9, 16 und 20 der Reihe 5 zu $P = (320000 + 320000 + 312000) : 3 = 317333$ kg,

» » » 10, 17 » 21 » » 6 » $P = (220000 + 230000 + 220000) : 3 = 223333$ kg.

Das Verhältnis der Höchstlast zu der Rißbildungslast beträgt somit

bei den Körpern der Reihe 5 $317333 : 166667 = 1 : 0{,}53$

» » » » 6 $223333 : 130000 = 1 : 0{,}58$ gegenüber

$1 : 0{,}51$ bei den Körpern der Reihe 1a und 2 (vergl. S. 27).

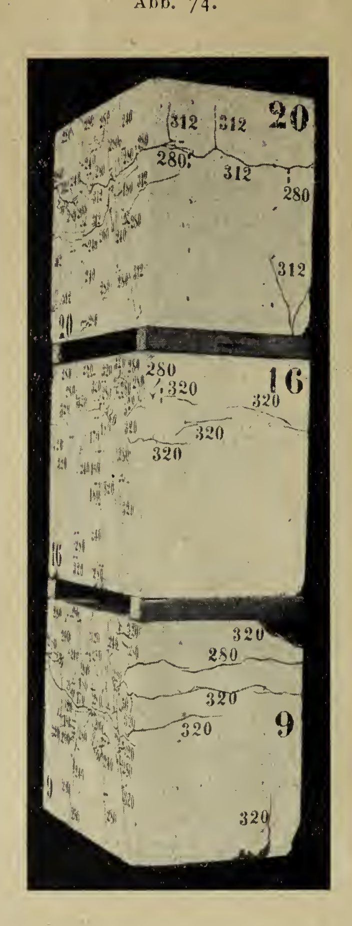
Beim Vergleich mit den Ergebnissen der Reihe 1a ergeben sich die folgenden Zahlenreihen; dabei ist zu beachten, daß bei Reihe 1a nur der Körper 8 mit der vorhandenen Prüfmaschine zerstört werden konnte, während bei Körper 7 und 11 derselben Reihe die Widerstandsfähigkeit mit der zur Verfügung stehenden Kraft nicht erschöpft war (vergl. S. 23).

[1]) Vergl. Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure 1898, S. 238 u. f; sowie Armierter Beton, 1914, S 197, Abschnitt I.

	Reihe 1a Abb. 2 und 3	Reihe 5 Abb. 11 und 12	Reihe 6 Abb. 13 und 14
Belastungsfläche $f =$	$30 \cdot 32{,}9 = 987$	$22{,}5 \cdot 24{,}8 = 558$	$17{,}7 \cdot 19{,}9 = 352$ qcm
Höchstlast $P =$	(506667)	317333	223333 kg
somit $P:f =$	(513)	569	634 kg/qcm
entsprechend den Verhältniszahlen	1	1,11	1,24
(bzw.	0,81	0,90	1).

Abb. 73.

Abb. 74.



Hiernach sind die spezifischen Belastungen der Druckfächen mit Abnahme der Körpergröße gewachsen. Das Mehr erscheint jedoch verhältnißmäßig kleiner als bei der Rißbildungslast (vergl. S. 32).

Die Pressungen $P:f$ unter der Rißbildungslast und unter der Höchstlast sind in Abb. 80 als senkrechte Ordinaten zu den Größen f als wagrechten Abscissen aufgetragen. Sie zeigen anschaulich den Einfluß der Körpergröße auf die Größe des Quotienten $P:f$[1]).

[1]) Die Abmessungen der Körper der Reihe 1a — 5 — 6 betragen rd. $^1/_3$ — $^1/_4$ — $^1/_5$ der Maße, welche am Bau ausgeführt wurden. Ein Schluß aus den Ergebnissen dieser drei Versuchsreihen auf die Festigkeit von Körpern, welche die Maße der Bauausführung haben, erscheint hiernach nur auf dem Wege roher Schätzung angängig.

Abb. 75.

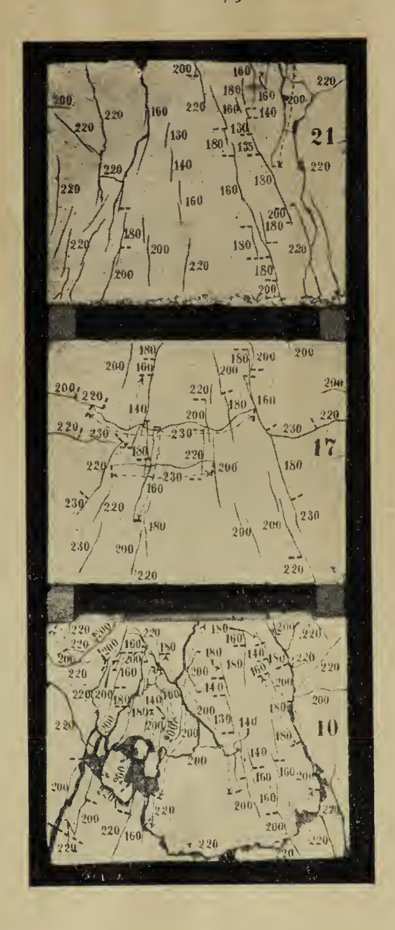


Abb. 76 bis 78.

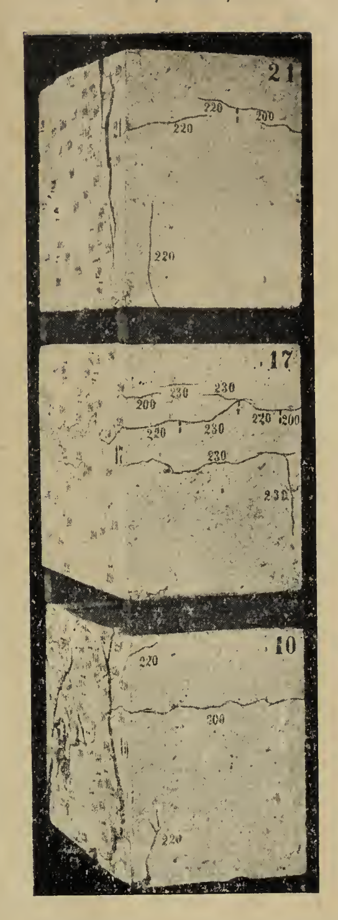
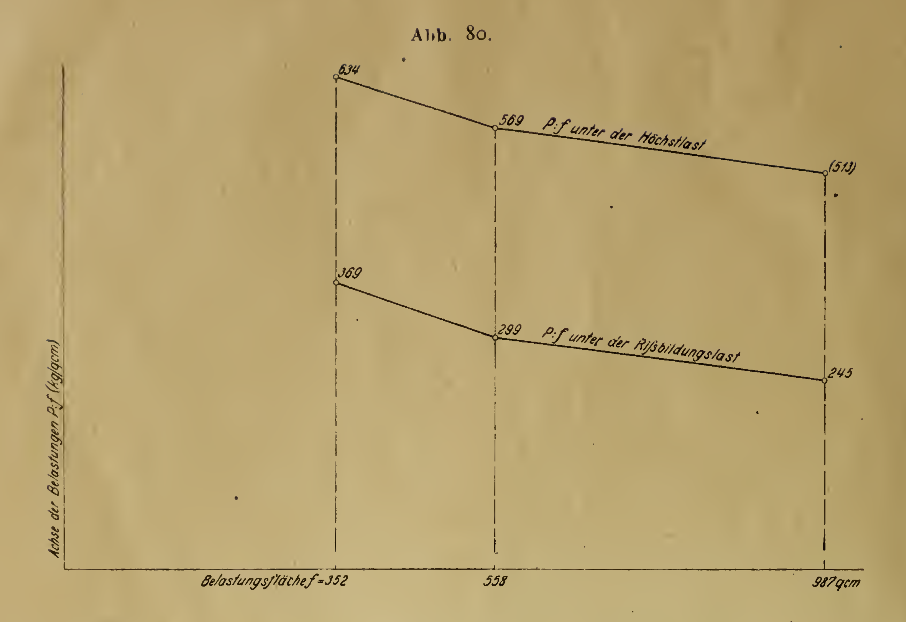


Abb. 79.



Abb. 80.



B. Versuche zur Ermittlung des Einflusses von Spiralbewehrung bei verschiedener Größe der Versuchskörper.

Diese Versuche sind in den Jahren 1914 und 1915 im Anschluß an die Versuche, über welche unter A berichtet ist, für die Generaldirektion der württembergischen Staatseisenbahnen durchgeführt worden. Der Versuchsplan ist von Herrn Baurat Dr.-Ing. Schächterle aufgestellt worden.

I. Bauart der Versuchskörper.

Es wurden hergestellt

1) Reihe 7, 3 Betonkörper nach Abb. 81 bis 83, jedoch ohne Eiseneinlagen. Belastungsplatten nach Abb. 81 und 82.

2) Reihe 8, 3 Eisenbetonkörper mit Bauart nach Abb. 81 bis 84. Die äußeren Abmessungen der Körper — in Abb. 81 bis 83 gestrichelt eingezeichnet sind die gleichen, wie bei Reihe 7.

Die Eiseneinlagen sind zusammengesetzt

a) aus einer Spirale von 7 mm Rundeisen, 50 mm Steigung der Schraubenlinie,

b) aus 8 senkrechten Stäben aus 16 mm Rundeisen, an der Spirale innen mit Bindedraht befestigt,

c) aus 4 Umfangsbügeln von 7 mm Rundeisen,

d) » 8 Längsstäben » 7 » » ,

e) » 12 Querstäben » 7 » » ,

f) » 4 senkrechten Stäben von 10 mm Rundeisen,

g) » 8 » » » 7 » » .

In Abb. 84 sind die Eiseneinlagen eines Körpers der Reihe 8 wiedergegeben.

3) Reihe 9, 3 Eisenbetonkörper nach Abb. 85 bis 88. Die Abmessungen sind größer als bei Reihe 8. Die Eiseneinlagen wurden in gleicher Weise zusammengesetzt wie bei Reihe 8, auch die Eisenstärken sind übereinstimmend. Abb. 88 zeigt die Eiseneinlagen.

4) Reihe 10, 3 Eisenbetonkörper nach Abb. 89 bis 92. Die Abmessungen sind kleiner als bei Reihe 8. Die Eiseneinlagen wurden ganz ähnlich wie bei Reihe 8 zusammengesetzt; die Stärke des Eisens zu der Spirale und zu den senkrechten Eckstäben ist die gleiche wie bei Reihe 8 und 9; die übrigen Eisen sind 1 mm schwächer.

Außerdem wurden hergestellt:

5) 3 Würfel von 30 cm Kantenlänge zur Ermittlung der Würfelfestigkeit des Betons.

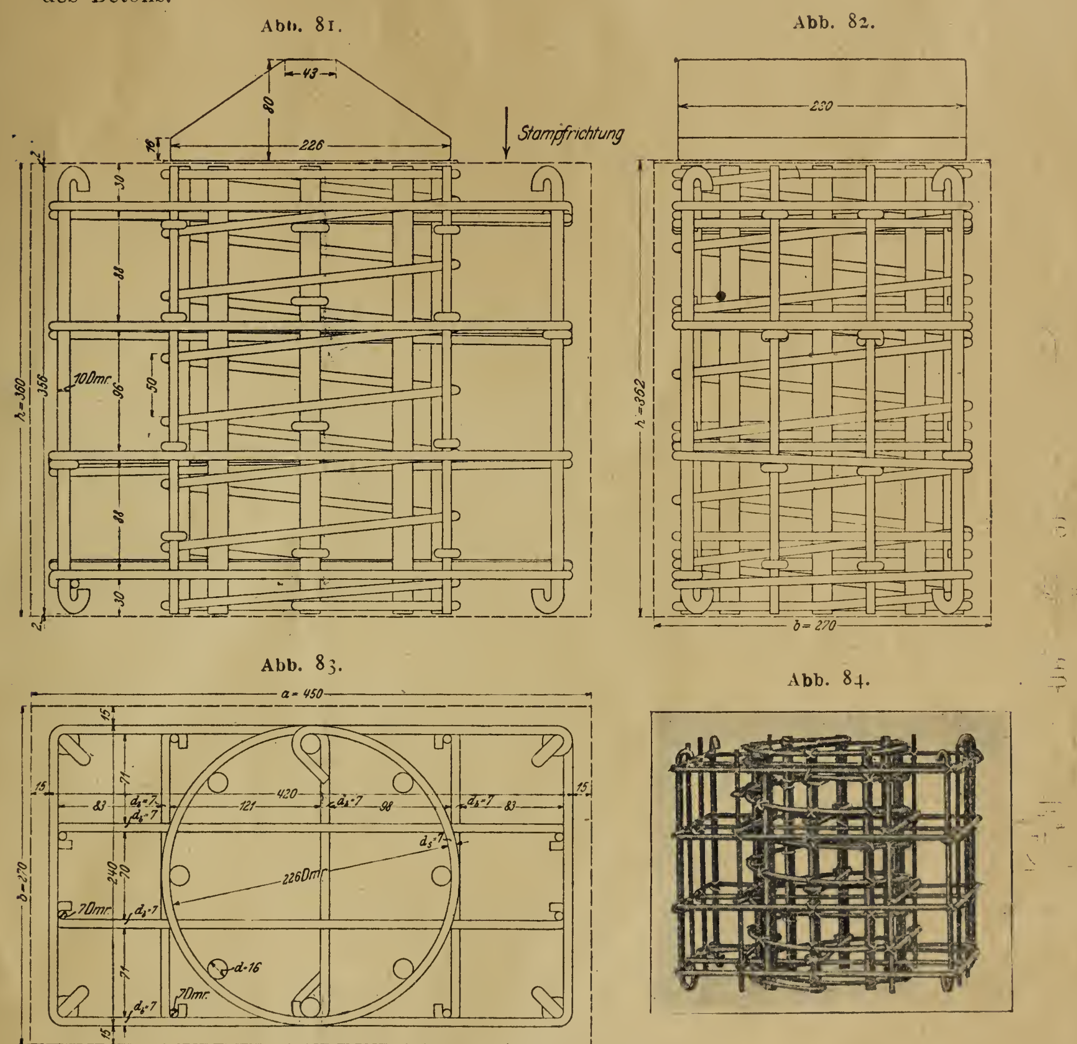


Abb. 81 bis 84. Körper der Reihe 8.

II. Materialien der Versuchskörper. Zusammensetzung und Würfelfestigkeit des Betons.

1) Materialien.

Als Betonmaterial wurden verwendet

Zement von der Firma Dyckerhoff & Söhne, G. m. b. H., in Amöneburg,
Rheinsand von der Firma Kiefer in Knielingen bei Karlsruhe,
Porphyrgrus vom Porphyrwerk »Edelstein«, G. m. b. H., Schriesheim.

Das Raumgewicht ergab sich

für 10 Liter Rheinsand zu 14,5 kg,
» 10 » Porphyrgrus » 12,0 ».

Das Eisen war gewöhnliches Handelseisen. Die Prüfung ergab

	für 6	7	8	10	15	16 mm Eisen
die obere Streckgrenze zu	4331	2966	3370	3501	3031	3401 kg/qcm,
» Zugfestigkeit »	5309	4125	4300	4665	4139	4640 » .

Die Quetschgrenze des 16 mm Rundeisens ist an 100 mm langen Stäben zu 3436 kg/qcm ermittelt worden.

2) Zusammensetzung des Betons.

Sie betrug

1 Raumteil Zement, $1\frac{1}{2}$ Raumteile Rheinsand, 2 Raumteile Porphyrgrus, 11,8 vH Wasser (Hundertteile vom Gewicht der trockenen Materialien).

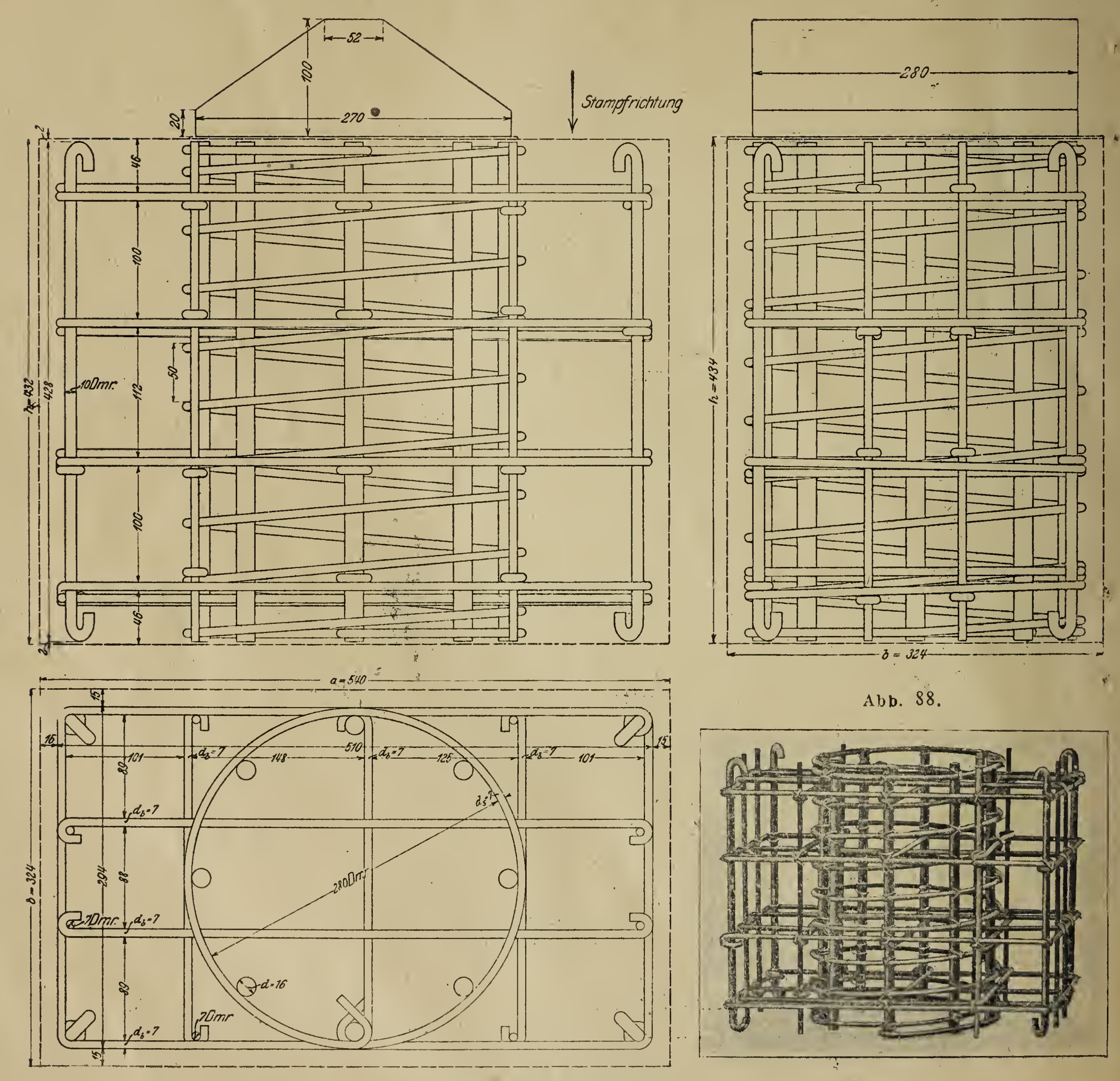


Abb. 88.

Abb. 85 bis 88. Körper der Reihe 9.

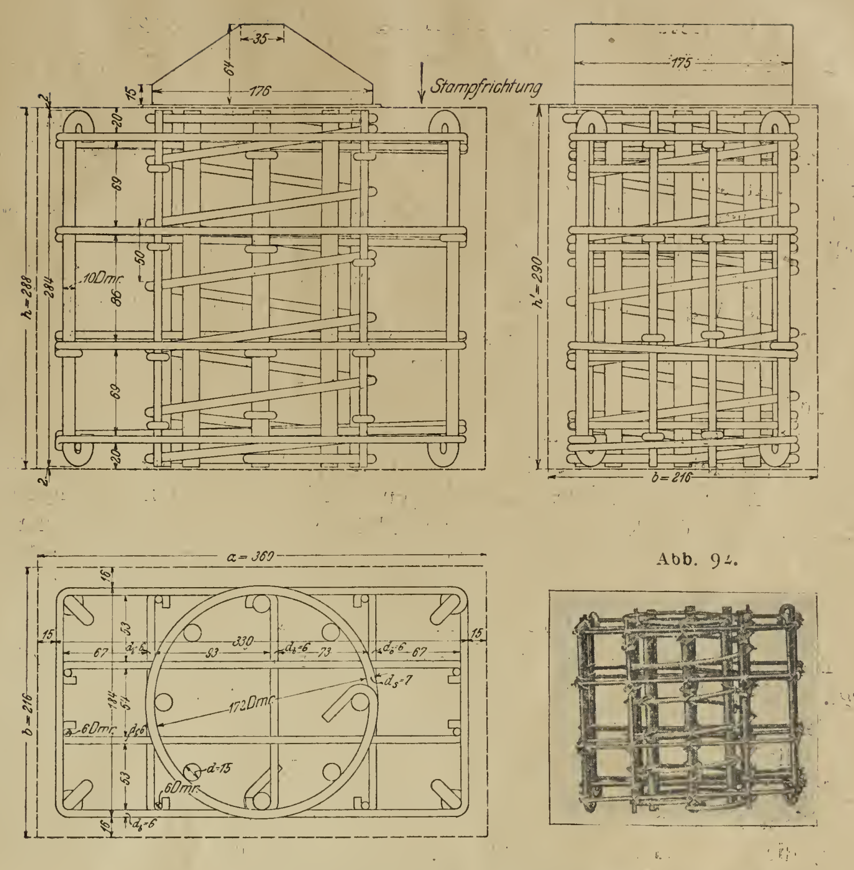


Abb. 92.

Abb. 89 bis 92. Körper der Reihe 10.

Der Wasserzusatz war derart gewählt, daß weicher Beton entstand, der bei sorgfältiger Arbeit in den engen Eisengerippen der Versuchsreihen 8 bis 10 eben noch zuverlässig verarbeitet werden konnte. Es war also nötig, einen Beton mit erheblich größerem Wasserzusatz zu wählen als bei den Versuchen A (vergl. S. 6 und 11).

3) Würfelfestigkeit des Betons.

Im Alter von 156 Tagen wurde ermittelt (Druck senkrecht zur Stampfrichtung)

	das Raumgewicht	die Würfelfestigkeit
bei Würfel 1 zu	2,23	321 kg/qcm,
» » 2 »	2,23	352 » ,
» » 3 »	2,23	326 » ,
im Mittel zu	2,23	333 kg/qcm.

Beim Vergleich mit den Ergebnissen der Versuche A (S. 11) zeigt sich, daß der hier verwendete Beton bedeutend geringere Würfelfestigkeit besaß, nämlich 333 kg/qcm im Alter von 156 Tagen gegenüber 480 kg/qcm im Alter von 28 Tagen bei den Versuchen A, in der Hauptsache eine Folge des größeren Wasserzusatzes beim Beton der Versuche B.

III. Herstellung und Lagerung der Versuchskörper.

Die Versuchskörper wurden von den Arbeitern der Materialprüfungsanstalt hergestellt.

Das Mischen des Betons erfolgte in der Maschine »Patent Hüser« nach § 4 der Normen für vergleichende Druckversuche mit Stampfbeton, aufgestellt vom Deutschen Ausschuß für Eisenbeton, 1908.

Die Formen zur Herstellung der Körper der Reihen 7 bis 10 waren in derselben Art gebaut, wie bei den Versuchen A (vergl. S. 11).

Das Einlegen und Stampfen des Betons erfolgte in 5 Schichten. Nach dem Stampfen und Abgleichen der letzten Schicht wurde im mittleren Teil der oberen Fläche der Körper eine rd. 3 mm starke Schicht aus reinem Zement aufgetragen und nach dem Erhärten genau parallel der unteren Fläche gehobelt (vergl. S. 11 und 12).

Zur Herstellung der Würfel dienten die üblichen eisernen Formen.

Alle Versuchskörper wurden nach der Herstellung mit nassen Säcken bedeckt. Im Alter von mindestens 2 Tagen wurden die Seitenwandungen der Formen entfernt, die Körper von der Grundplatte abgehoben und bis zum Prüfungstag unter nassen Säcken in einem geschlossenen Raum aufbewahrt[1]).

IV. Durchführung der Versuche.

Die Prüfung erfolgte mit denselben Einrichtungen wie bei den Versuchen A (vergl. S. 12). Alter am Prüfungstag: 159 bis 166 Tage.

Beobachtet wurden

1) die Belastung, unter welcher die ersten Risse sich einstellten (Rißbildungslast),

2) das Fortschreiten der Risse mit steigender Last,

3) die Höchstlast, d. i. diejenige Last, unter welcher die Widerstandsfähigkeit der Körper erschöpft war.

Zur Erleichterung des Auffindens der Risse waren die Körper einige Stunden vor der Prüfung mit einem dünnen, weißen Anstrich aus Schlemmkreide versehen worden.

V. Versuchsergebnisse.

1) Versuche mit den unbewehrten Betonquadern 30, 34 und 38 mit Abmessungen und Belastungsplatten nach Abb. 81 bis 83, Reihe 7.

Die Abmessungen der Versuchskörper sowie die Prüfungsergebnisse sind in Zahlentafel 5 eingetragen.

Zur Erläuterung des Prüfungsvorgangs und der Ergebnisse wird zunächst der Körper 30 herausgegriffen.

a) Körper 30.

Herstellungstag: 25. Juli 1914.
Prüfungstag: 4. Januar 1915.
Alter: 163 Tage.
Höhe h: 36,0 cm.
Breite a: 45,1 » .
Dicke b: 27,2 » .
Gewicht G: 98,9 kg.
Gewicht der Belastungsplatte: 21,5 » .

[1]) Vergl. Fußbemerkung S. 12.

Zahlentafel 5.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen und Gewicht der Körper					Abmessungen und Gewicht der Eiseneinlagen				Belastung, unter welcher		Höchstlast
			Höhe		Seite		Gewicht	Durchmesser			Gewicht	noch kein Riß beobachtet wurde	Risse zuerst beobachtet wurden	
			h	h'	a	b	G	Senkrechte Eisen innerhalb der Spirale	Bügel d_b	Spirale d_s	G_e			
		Tage	cm	cm	cm	cm	kg	cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg
Körper der Reihe 7, ohne Bewehrung.														
30	25. 7. 14	163	36,0	36,2	45,1	27,2	98,9					160 000	165 000	240 000
34	29. 7. 14	159	36,0	36,1	45,0	27,2	99,1					140 000	145 000	215 000
38	4. 8. 14	160	36,0	36,2	45,0	27,1	99,0					150 000	155 000	200 000
Durchschnitt:	—	161	—	—	—	—	99,0	—	—	—	—	150 000	155 000	218 333
Körper der Reihe 8, Bauart nach Abb. 81 bis 84.														
29	25. 7. 14	166	35,6	35,9	45,0	27,2	108,1	$d =$ 1,60 $d =$ 1,60 $d =$ 1,59 $d =$ 1,59 $d =$ 1,58 $d =$ 1,59 $d =$ 1,60 $d =$ 1,60	$d_b =$ 0,71 bis $d_b =$ 0,75 im Mittel $d_b =$ 0,73	$d_s =$ 0,73	12,7	155 000	158 000	380 000
33	29. 7. 14	163	35,8	36,0	45,0	27,1	108,2	$d =$ 1,59 $d =$ 1,60 $d =$ 1,60 $d =$ 1,60 $d =$ 1,56 $d =$ 1,57 $d =$ 1,60 $d =$ 1,58	$d_b =$ 0,71 bis $d_b =$ 0,72 im Mittel $d_b =$ 0,71	$d_s =$ 0,72	12,5	120 000	130 000	340 000
37	4. 8. 14	160	35,8	36,1	45,0	27,1	109,0	$d =$ 1,58 $d =$ 1,59 $d =$ 1,60 $d =$ 1,58 $d =$ 1,56 $d =$ 1,61 $d =$ 1,57 $d =$ 1,60	$d_b =$ 0,71 bis $d_b =$ 0,73 im Mittel $d_b =$ 0,72	$d_s =$ 0,73	12,8	125 000	130 000	356 000
Durchschnitt:	—	163	—	—	—	—	108,4	—	—	—	12,7	133 333	139 333	358 667
Körper der Reihe 9, Bauart nach Abb. 85 bis 88.														
31	25. 7. 14	164	43,2	43,4	54,0	32,5	184,0	$d =$ 1,56 $d =$ 1,56 $d =$ 1,61 $d =$ 1,58 $d =$ 1,56 $d =$ 1,58 $d =$ 1,57 $d =$ 1,62	$d_b =$ 0,78 bis $d_b =$ 0,81 im Mittel $d_b =$ 0,79	$d_s =$ 0,80	18,1	160 000	160 000	454 000
35	29. 7. 14	163	42,9	43,2	53,7	32,5	183,2	$d =$ 1,57 $d =$ 1,55 $d =$ 1,58 $d =$ 1,57 $d =$ 1,58 $d =$ 1,56 $d =$ 1,56 $d =$ 1,61	$d_b =$ 0,78 bis $d_b =$ 0,80 im Mittel $d_b =$ 0,79	$d_s =$ 0,80	18,2	190 000	195 000	480 000

Zahlentafel 5. (Fortsetzung.)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen und Gewicht der Körper: Höhe h	Höhe h'	Seite a	Seite b	Gewicht G	Abmessungen und Gewicht der Eiseneinlagen: Durchmesser: Senkrechte Eisen innerhalb der Spirale	Durchmesser: Bügel d_b	Durchmesser: Spirale d_s	Gewicht G_e	Belastung, unter welcher noch kein Riß beobachtet wurde	Belastung, unter welcher Risse zuerst beobachtet wurden	Höchstlast
		Tage	cm	cm	cm	cm	kg	cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg
39	4. 8. 14	161	43,1	43,3	53,7	32,7	184,3	$d = 1,56$ $d = 1,57$ $d = 1,58$ $d = 1,56$ $d = 1,59$ $d = 1,58$ $d = 1,58$ $d = 1,60$	$d_b = 0,77$ bis $d_b = 0,81$ im Mittel $d_b = 0,79$	$d_s = 0,80$	18,2	140 000	150 000	462 000
Durchschnitt:	—	163	—	—	—	—	183,8	—	—	—	18,2	163 333	168 333	465 333
Körper der Reihe 10, Bauart nach Abb. 89 bis 92.														
28	25. 7. 14	166	28,6	28,8	36 0	21,7	56,6	$d = 1,48$ $d = 1,51$ $d = 1,48$ $d = 1,47$ $d = 1,49$ $d = 1,48$ $d = 1,50$ $d = 1,48$	$d_b = 0,60$ bis $d_b = 0,62$ im Mittel $d_b = 0,60$	$d_s = 0,70$	8,0	90 000	90 000	238 000
32	29. 7. 14	164	28,7	29,0	35,9	21,7	57,0	$d = 1,48$ $d = 1,48$ $d = 1,49$ $d = 1,50$ $d = 1,49$ $d = 1,50$ $d = 1,48$ $d = 1,48$	$d_b = 0,60$ bis $d_b = 0,62$ im Mittel $d_b = 0,61$	$d_s = 0,70$	8,1	70 000	80 000	235 000
36	4. 8. 14	161	28,8	29,0	35,9	21,7	57,2	$d = 1,50$ $d = 1,50$ $d = 1,49$ $d = 1,49$ $d = 1,50$ $d = 1,50$ $d = 1,50$ $d = 1,49$	$d_b = 0,59$ bis $d_b = 0,61$ im Mittel $d_b = 0,60$	$d_s = 0,70$	8,2	75 000	80 000	240 000
Durchschnitt:	—	164	—	—	—	—	56,9	—	—	—	8,1	78 333	83 333	237 667

Zunächst erfolgte Belastung mit $P = 20000$ kg. Daran schloß sich das Absuchen der Flächen des Körpers nach Rissen, die unter dieser Belastung nicht festgestellt werden konnten. Hierauf folgte Entlastung auf $P = 0$ kg, dann Belastung mit $P = 40000$ kg, darauf Entlastung auf $P = 0$ kg u. s. f. Nach $P = 100000$ kg wurde die Last langsamer gesteigert und die Flächen wurden unter Zwischenbelastungen nach Rissen abgesucht.

Unter $P = 165000$ kg ist der erste Riß an der aus Abb. 93 ersichtlichen Stelle festgestellt worden.

Mit steigender Belastung verlängerten und vermehrten sich die Risse, wie die Abb. 94 bis 98 erkennen lassen.

Unter $P = 240000$ kg erfolgte die Zerstörung, vergl. Abb. 99. Von der Drückplatte aus wurde ein Keil in den Versuchskörper getrieben und das umliegende Material abgesprengt (vergl. unter A, S. 19).

Die Abb. 102 und 103 zeigen die Entwicklung der Risse an den Körpern 34 und 38; die zerstörten Körper sind in Abb. 100 und 101 abgebildet

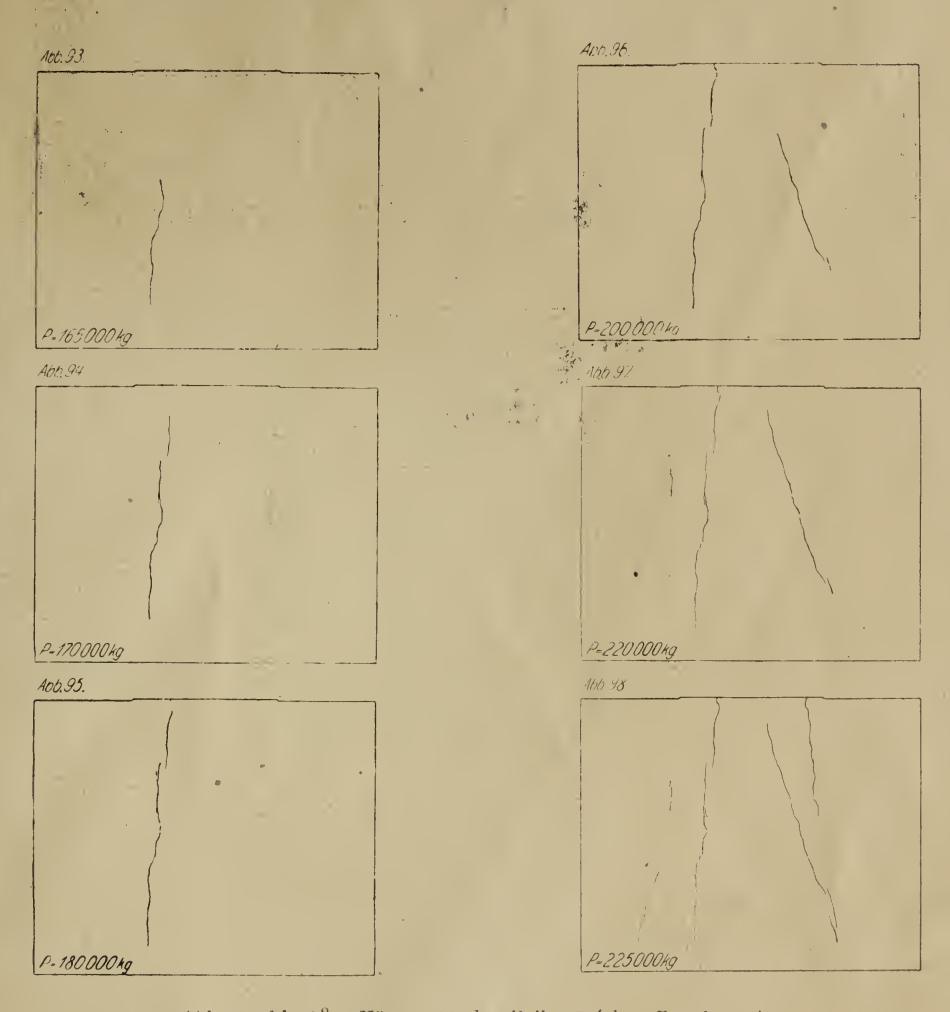


Abb. 93 bis 98. Körper 30 der Reihe 7 (ohne Bewehrung).

b) Rißbildungslast und Höchstlast der Körper 30, 34 und 38 der Reihe 7 (ohne Bewehrung).

Die ersten Risse wurden beobachtet

beim Körper 30 unter $P = 165000$ kg,
» » 34 » $P = 145000$ » ,
» » 38 » $P = 155000$ » ,
im Mittel unter $P = 155000$ kg

Abb. 99.



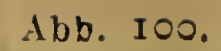

Abb. 100.



Abb. 101.



Die Höchstlast betrug

beim Körper	30	$P = 240000$ kg,
» »	34	$P = 215000$ »,
» »	38	$P = 200000$ »,
im Mittel		$P = 218333$ kg.

Das Verhältnis der Höchstlast zur Rißbildungslast beträgt hiernach

$$218333 : 155000 = \underline{1 : 0{,}71.}$$

Abb. 102. *Körper 34 (ohne Bewehrung) unter P=200000 kg*

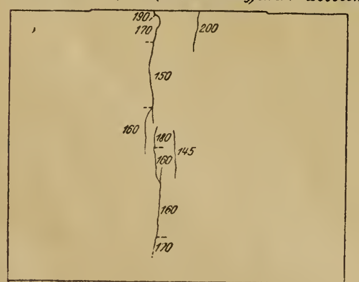
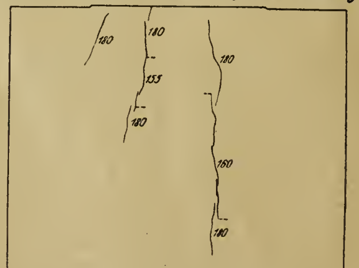


Abb. 103. *Körper 38 (ohne Bewehrung) unter P=180000 kg*



Bei den Versuchen A mit größeren Körpern aus Beton mit geringerem Wasserzusatz fand sich dieses Verhältnis zu 1 : 0,49.

Die Größe der Belastung auf 1 qcm der oberen Druckfläche 22,6 · 23,0 ergibt sich

unter der Rißbildungslast zu $k = \frac{155\,000}{22{,}6 \cdot 23{,}0} = \underline{298}$ kg/qcm,

» » Höchstlast zu $k = \frac{218\,333}{22{,}6 \cdot 23{,}0} = \underline{420}$ » [1]).

Abb. 104. P-130000 kg

Abb. 108. P-200000 kg

Abb. 105. P-140000 kg

Abb. 109. P-240000 kg

Abb. 106. P-160000 kg

Abb. 110. P 280000 kg

Abb. 107. P-180000 kg

Abb. 111. P-320000 kg

Abb. 104 bis 111. Körper 33 der Reihe 8, Bauart nach Abb. 81 bis 84.

[1]) Die Würfelfestigkeit, ermittelt an Körpern von 30 cm Kantenlänge, ist zu 333 kg/qcm ermittelt worden. Da die Querschnittsabmessungen der Würfel sich nicht bedeutend von denen der Quader der Reihe 7 unterscheiden, es sich überdies um Körper aus weich angemachtem Beton handelt, so kann die Würfelfestigkeit mit der Größe k beim Quader in Vergleich gebracht werden; das Verhältnis beträgt 333 : 420 = 1 : 1,26.

2) Versuche mit den Eisenbetonquadern 29, 33 und 37, Bauart nach Abb. 81 bis 84, Reihe 8.

a) Rißbildungslast.

Die ersten Risse wurden beobachtet

bei dem Körper 29	unter	$P = 158000$ kg,
» » » 33	»	$P = 130000$ » ,
» » » 37	»	$P = 130000$ » ,
im Mittel	unter	$P = \underline{139333}$ kg,

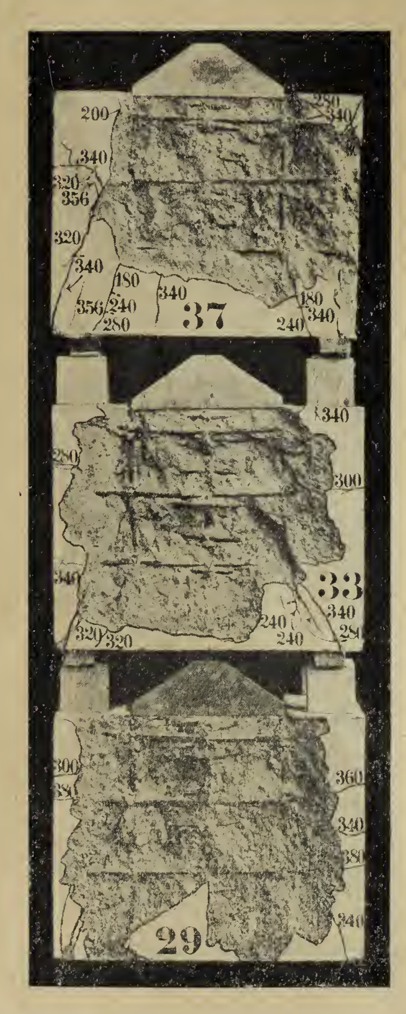


Abb. 112.

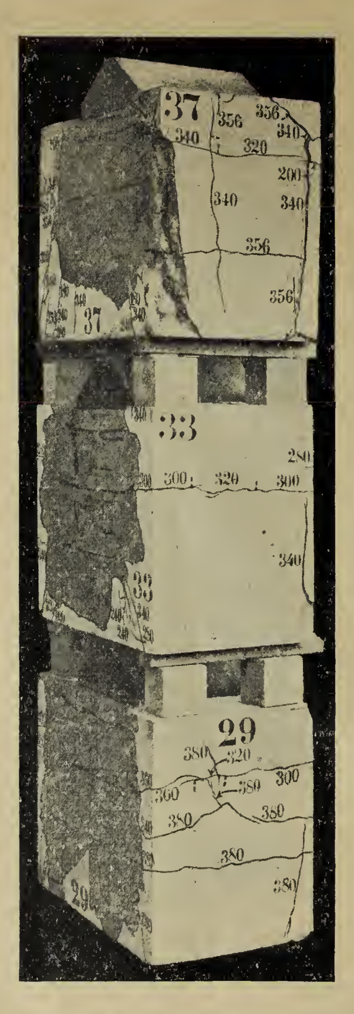


Abb. 113.

gegenüber $P = 155000$ kg bei den unbewehrten Körpern der Reihe 7. Bei den bewehrten Körpern sind somit die ersten Risse unter kleinerer Last aufgetreten als bei den unbewehrten. Hierbei wird zu beachten sein, daß der Beton der außerordentlich stark und eng bewehrten Körper nicht so gleichmäßig und nicht so dicht hergestellt werden kann wie bei den Körpern ohne Einlagen, selbst bei sorgfältigster Arbeit. In den rechts und links gelegenen Teilen ist ausreichend Raum zum Stampfen, an der Spirale

aber sehr knapper Raum. Die Hindernisse, die sich dem Setzen des Betons in den äußeren Teilen entgegenstellen, sind weit geringer als in der Peripherie der Spirale.

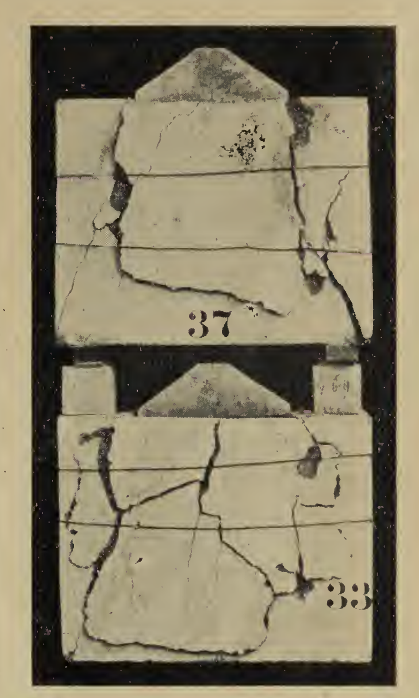
Die Belastung auf 1 qcm der oberen Druckfläche beträgt unter der Rißbildungslast

$$k = \frac{139\,333}{22{,}6 \cdot 23{,}0} = 268 \text{ kg/qcm}$$

gegenüber $k = 298$ kg/qcm bei Reihe 7.

b) Erscheinungen bei der Rißbildung. Fortschreiten der Risse mit steigender Last.

Abb. 114.



Zur Erläuterung der Beobachtungen wird Körper 33 herausgegriffen.

Die ersten Risse treten unter $P = 130\,000$ kg an den aus Abb. 104 ersichtlichen Stellen ein. Diese Risse weichen nach Lage und Verlauf ganz erheblich von denen ab, welche bei den Eisenbetonkörpern der Versuche A festzustellen waren. Während früher die ersten Risse im mittleren Körperquerschnitt und in mittlerer Höhe festzustellen waren (z. B. in Abb. 20, 27, 36, 50, 68), erschienen jetzt die ersten Risse in dem Gebiet, wo die äußeren, schwächer bewehrten Körperteile an den mittleren, stark spiralbewehrten Teil anschließen. Ueberdies verlaufen die ersten Risse nicht parallel der Kraftrichtung wie früher, sondern geneigt zur Achse der Belastung.

Abb. 105 bis 111 zeigen die weitere Entwicklung der Risse. In Abb. 112 bis 114 sind die Körper im Zustand am Schluß des Versuchs dargestellt.

Sie deuten an, daß der unmittelbar unter der Druckplatte gelegene spiralbewehrte Körperteil sich allmählich von den rechts und links gelegenen schwächer bewehrten Teilen trennt. Im Einklang hiermit weist der Verlauf der ersten Risse auf Schubspannungen hin. Am Schluß des Versuchs war an dem unter der Druckplatte gelegenen Teil die Betondeckung der Eiseneinlagen seitlich abgefallen und die Zusammendrückung des spiralbewehrten Teils viel größer als in den äußeren Teilen (vergl. z. B. in Abb. 112 die Eindrückungen der Belastungsplatten in den Versuchskörpern).

Die Abb. 115 bis 117 zeigen die Entwicklung der Risse an den Körpern 29 und 37 der Reihe 8; die Erscheinungen gleichen den bei Körper 33 beschriebenen.

c) Höchstlast der Körper der Reihe 8.

Die Höchstlast wurde ermittelt

beim Körper 29 zu $P = 380\,000$ kg,
» » 33 » $P = 340\,000$ » ,
» » 37 » $P = 356\,000$ » ,
im Mittel zu $P = 358\,667$ kg,

gegenüber $P_{max} = 218\,333$ kg bei den Körpern der Reihe 7 ohne Bewehrung (S. 44).

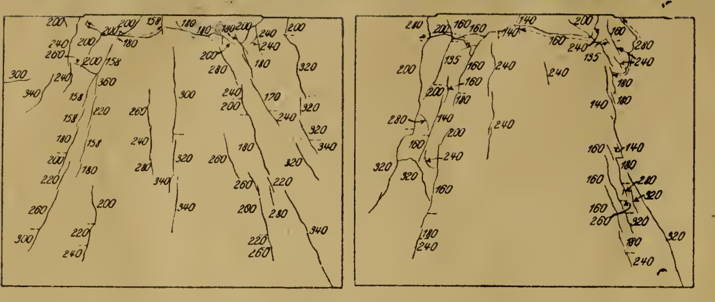


Abb. 115. Körper 29 der Reihe 8 unter $P = 340000$ kg   Abb. 116. Körper 37 der Reihe 8 unter $P = 320000$ kg

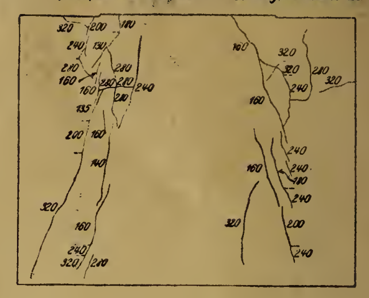


Abb. 117. Körper 37 der Reihe 8 unter $P = 320000$ kg (Rückseite zu Abb. 116)

Durch die Bewehrung nach Abb. 81 bis 84 (Eisengewicht $Ge = 12{,}7$ kg) ist somit die Höchstlast um $\frac{358\,667 - 218\,333}{218\,333} \cdot 100 = \underline{64 \text{ vH}}$ erhöht worden, somit auf 1 kg Eisen um $\frac{140\,334}{12{,}7} = \underline{11\,050 \text{ kg}}$. (Gegenüber der einfachen Quer- bezw. Netzbewehrung bei den Versuchen A vergl. das S. 25 und 26 Gesagte).

Das Verhältnis der Höchstlast zur Rißbildungslast beträgt

$$358\,667 : 139\,333 = 1 : 0{,}39,$$

gegenüber 1 : 0,53 bei den Körpern der Reihe 5 (vergl. S. 33).

Die Belastung auf 1 qcm der oberen Druckfläche beträgt unter der Höchstlast

$$k = \frac{358\,667}{22{,}6 \cdot 23{,}0} = \underline{690 \text{ kg/qcm}}\,[1]).$$

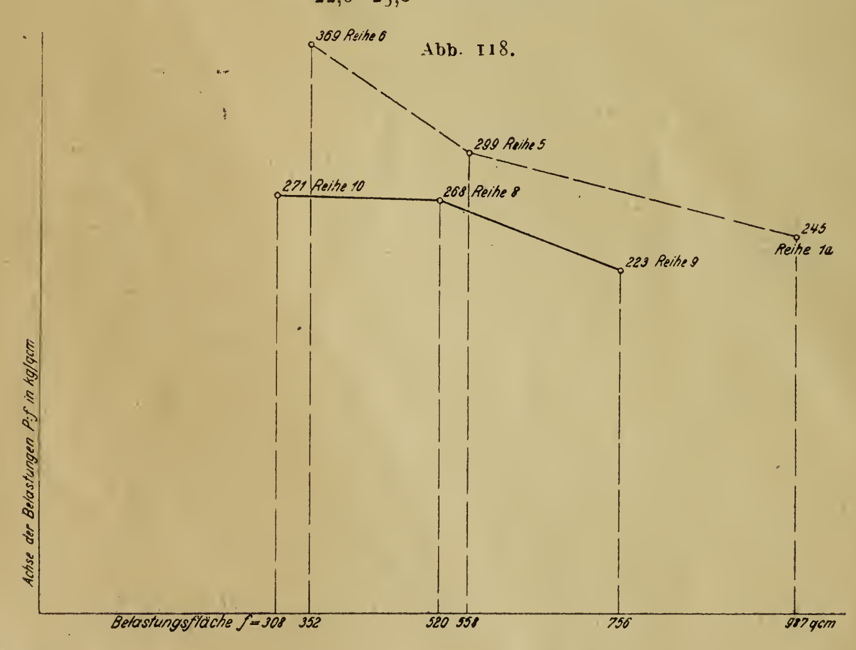


Abb. 118.

[1]) Wird auf Grund der Erscheinungen bei der Zerstörung der Körper angenommen, die Last würde durch einen spiralbewehrten Körper mit einem Querschnitt gleich dem von der Spirale umschlossenen getragen, so ergibt sich nach den Regeln der amtlichen Bestimmungen

$$k = \frac{358\,667}{F_k + 15\,F_e + 45\,F_s} = \frac{358\,667}{23{,}3^2\,\frac{\pi}{4} + 15\left(8 \cdot 1{,}6^2\,\frac{\pi}{4}\right) + 45\,\frac{\left(\pi \cdot 23{,}3 \cdot 0{,}7^2\,\frac{\pi}{4}\right)}{5}} = \underline{390 \text{ kg/qcm}},$$

gegenüber $K = 420$ kg/qcm bei den unbewehrten Körpern (vergl. S. 45).

3) Versuche mit den Eisenbetonquadern
31, 35 und 39 der Reihe 9, Bauart nach Abb. 85 bis 88,
28, 32 „ 36 „ „ 10, „ „ „ 89 „ 92.

a) Rißbildungslast.

Die ersten Risse wurden beobachtet

bei den Körpern 31, 35 u. 39 der Reihe 9 unter $P = (160000 + 195000 + 150000) : 3$
$= \underline{168333 \text{ kg}},$

» » » 28, 32 » 36 » » 10 » $P = (90000 + 80000 + 80000) : 3$
$= \underline{83333 \text{ kg}}.$

Der Vergleich mit den Körpern der Reihe 8 ergibt folgendes.

	Reihe 9	Reihe 8	Reihe 10
Belastungsfläche $f =$	$27 \cdot 28 = 756$	$22{,}6 \cdot 23 = 520$	$17{,}6 \cdot 17{,}5 = 308$ qcm
Rißbildungslast $P =$	168333	139333	83333 kg
somit $P : f$ =	223	268	271 kg/qcm
entsprechend den Verhältniszahlen	1	1,20	1,22.

In Abb. 118 sind zu den Belastungsflächen f als wagrechten Abszissen die Werte $P : f$ als senkrechte Ordinaten aufgetragen und durch einen ausgezogenen Linienzug verbunden. Der Verlauf dieses Linienzuges zeigt in anschaulicher Weise die Abhängigkeit der Größe $P : f$ von der Größe der Versuchskörper.

In derselben Abb. 118 zeigt der gestrichelte Linienzug die Werte der Reihen 1a, 5 und 6 der Versuche A (vergl. S. 34).

Hieraus ergibt sich, daß sich der Einfluß der Größe der Versuchskörper bei den Versuchen A mehr geltend machte als bei den Versuchen B. Der Grund dürfte in dem Umstand zu suchen sein, daß der Beton zu den Versuchen B mit erheblich größerem Wasserzusatz angemacht worden ist als bei den Versuchen A, wodurch erfahrungsgemäß der Einfluß der Körpergröße auf die Festigkeit des Betons zurücktritt.

b) Erscheinungen bei der Rißbildung der Körper der Reihen 9 und 10.
Fortschreiten der Risse mit steigender Last.

Die Entwicklung der Risse am Körper 39 der Reihe 9 ist in den Abb. 119 bis 128 dargestellt. Die Abb. 129 und 130 zeigen die Rißentwicklung an den Körpern 31 und 35. Ueber den Zustand der Körper am Schluß des Versuchs

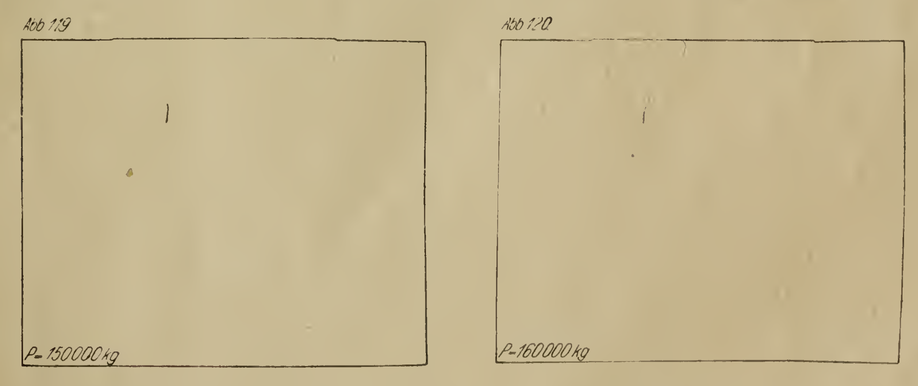


Abb. 119 und 120. Körper 39 der Reihe 9, Bauart nach Abb. 85 bis 88.

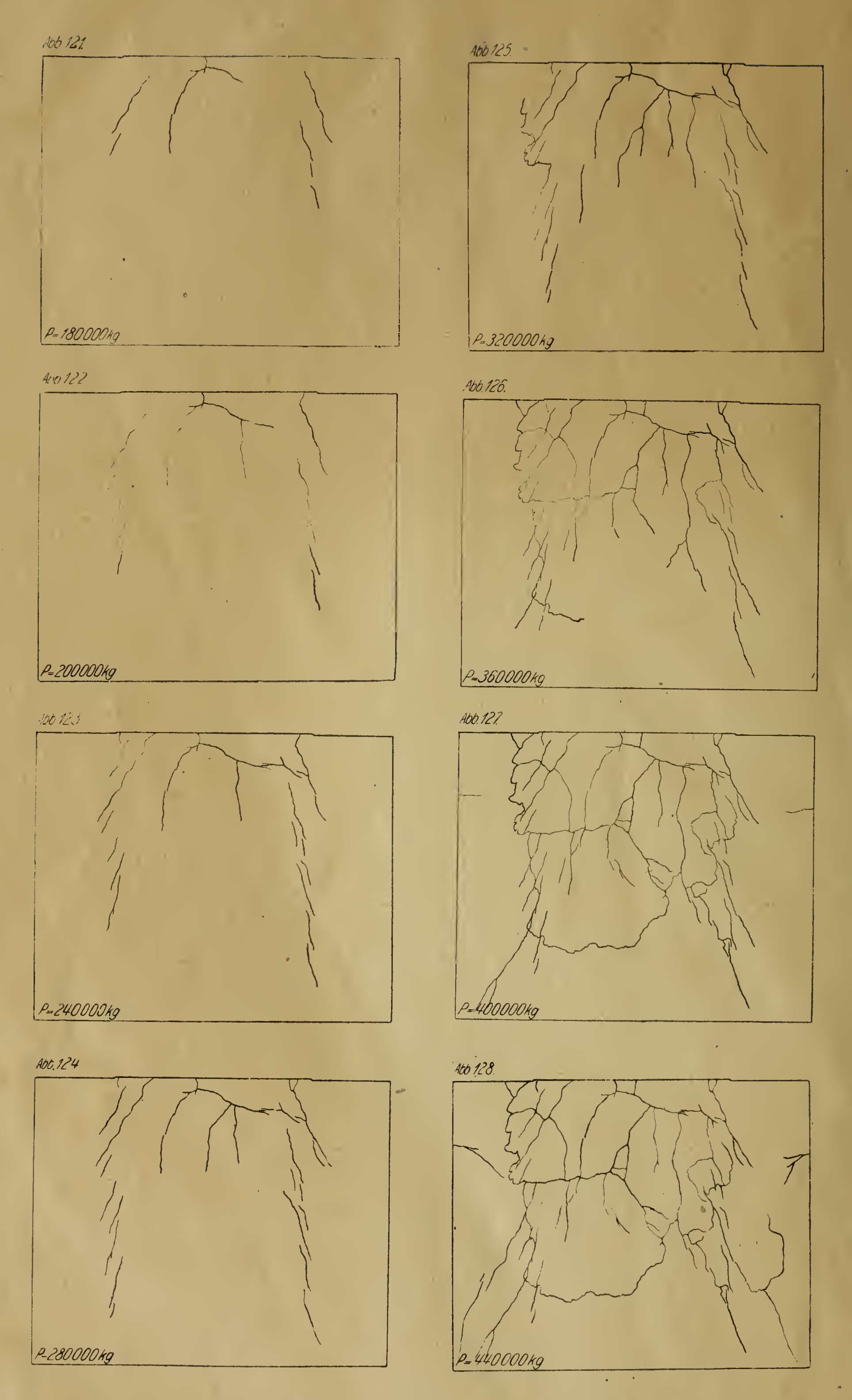


Abb. 121 bis 128. Körger 39 der Reihe 9, Bauart nach Abb. 85 bis 88.

Abb. 129. *Körper 31 der Reihe 9 unter P = 440000 kg*

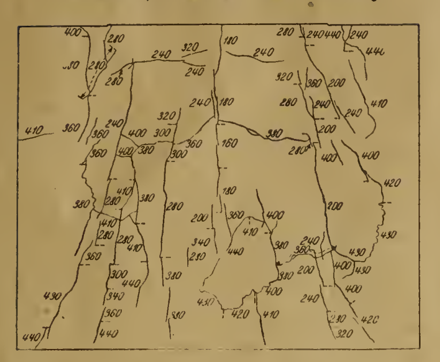




Abb. 130 *Körper 35 der Reihe 9 unter P = 440000 kg*

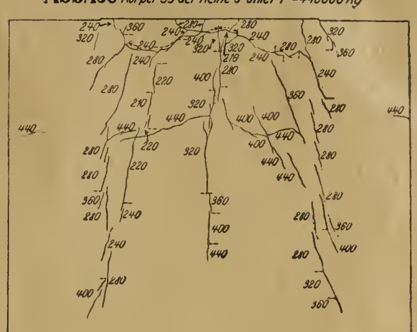


Abb. 131.



Abb. 132.



geben die Abb. 131 bis 134 Auskunft. Deutlich ist zu erkennen, daß das Material unter der Druckplatte in den Körper hineingepreßt, das Material außerhalb der Spiralen an den Breitseiten abgesprengt und die rechts und links von der Druckplatte gelegenen Körperteile mehr oder minder losgelöst wurden.

Die Abb. 135 bis 142 geben ein Bild der Rißentwicklung am Körper 28 der Reihe 10. In Abb. 143 bis 145 sind die Körper photographisch dargestellt,

Abb. 133.



Abb. 134. Obere Fläche des Körpers 39, Reihe 9.

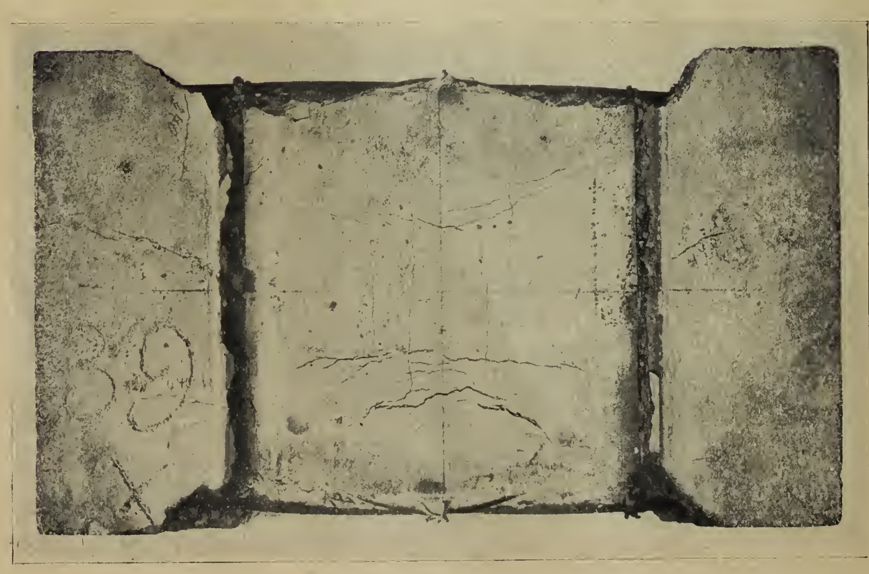


Abb. 135. P=90000 kg

Abb. 137. P=120000 kg

Abb. 139. P=160000 kg

Abb. 136. P=100000 kg

Abb. 138. P=140000 kg

Abb. 140. P=180000 kg

Abb. 141. P=200000 kg

Abb. 142. P=220000 kg

Abb. 135 bis 142. Körper 28 der Reihe 10, Bauart nach Abb. 89 bis 92.

Abb. 143.

Abb. 144.

Abb. 145.

c) Höchstlast der Körper der Reihen 9 und 10.

Sie wurden ermittelt

bei den Körpern 31, 35 und 39 der Reihe 9 zu $P = (454\,000 + 480\,000 + 462\,000) : 3$
$= \underline{465\,333 \text{ kg}},$

» » » 28, 32 » 36 » » 10 » $P = (238\,000 + 235\,000 + 240\,000) : 3$
$= \underline{237\,667 \text{ kg}}.$

Das Verhältnis der Höchstlast zur Rißbildungslast beträgt somit

bei den Körpern der Reihe 9 $465\,333 : 168\,333 = 1 : 0{,}36$,

» » » » » 10 $237\,667 : 83\,333 = 1 : 0{,}35$,

während dieses Verhältnis bei Reihe 8 zu 1 : 0,39 gefunden wurde (vergl. S. 48).

Der weitere Vergleich mit den Körpern der Reihe 8 ergibt folgendes

	Reihe 9	Reihe 8	Reihe 10
Belastungsfläche $f =$	$27 \cdot 28 = 756$	$22{,}6 \cdot 23 = 570$	$17{,}6 \cdot 17{,}5 = 308$ qcm
Höchstlast $P =$	465 333	358 667	237 667 kg
somit $P : f =$	616	690	772 kg/qcm [1]
entsprechend den Verhältniszahlen	1	1,12	1,25.

C. Versuche mit Betonquadern zur Ermittlung des Einflusses der Höhe der Versuchskörper, sowie zur Bestimmung des Einflusses der Breite der Körper bei gleichen Belastungsplatten.

Diese Versuche sind im Jahre 1919 mit Mitteln der Robert Bosch-Stiftung durchgeführt worden.

I. Bauart der Versuchskörper.

Es wurden hergestellt:

1) Reihe 11, 3 Betonkörper, nach Abb. 146, 270 mm hoch,
2) » 12, 3 » » » 147, 430 » » ,
3) » 13, 3 » » » 148, 540 » » ,
4) » 14, 3 » » » 149, 810 » » .

Die Breite beträgt bei allen Körpern 540 mm, die Dicke 270 mm

5) Reihe 15, 3 Betonkörper nach Abb. 150, 270 mm breit,
6) » 16, 3 » » » 151, 400 » » ,
7) » 17, 3 » » » 152, 700 » » ,

wobei die Höhe 430 mm und die Dicke 270 mm beträgt wie bei Reihe 12.

Außerdem sind hergestellt worden:

8) 5 Würfel von 30 cm Kantenlänge zur Ermittlung der Würfelfestigkeit des Betons.

---

[1] Bei Beurteilung dieser Zahlen ist zu beachten, daß die Stärke der Bewehrung der Körper nicht proportional der Größe der Versuchskörper gewählt werden konnte; bei den kleinen Körpern wurde verhältnismäßig mehr Eisen verwendet als bei den großen. Ueberdies tritt die Anteilnahme der außerhalb der Spirale gelegenen Körperteile mit Zunahme der Rißbildung gegen die Bruchlast hin zurück. Wird deshalb angenommen, daß die Bruchlast durch den spiralbewehrten Kern getragen werde, so ergibt sich auf dem in Fußbemerkung 1, S. 48 angegebenen Weg

bei Reihe 9	Reihe 8	Reihe 10
$k = 388$	390	360 kg/qcm,

also nur wenig verschiedene Zahlen. Der Einfluß der Größe der Körper würde hiernach nicht mehr deutlich ausgeprägt vorhanden sein.

Abb. 146. Reihe 11. Abb. 147. Reihe 12. Abb. 148. Reihe 13. Abb. 149. Reihe 14.

9) 3 Prismen mit quadratischem Querschnitt von 20 cm Seitenlänge und 80 cm Höhe zur Ermittlung der gesamten, bleibenden und federnden Zusammendrückungen unter verschiedenen Belastungen, sowie zur Bestimmung der Prismenfestigkeit des Betons.

10) 3 Zugkörper mit quadratischem Querschnitt von 20 cm Seitenlänge zur Ermittlung der gesamten, bleibenden und federnden Verlängerungen unter verschiedenen Belastungen, sowie der Zugfestigkeit des Betons.

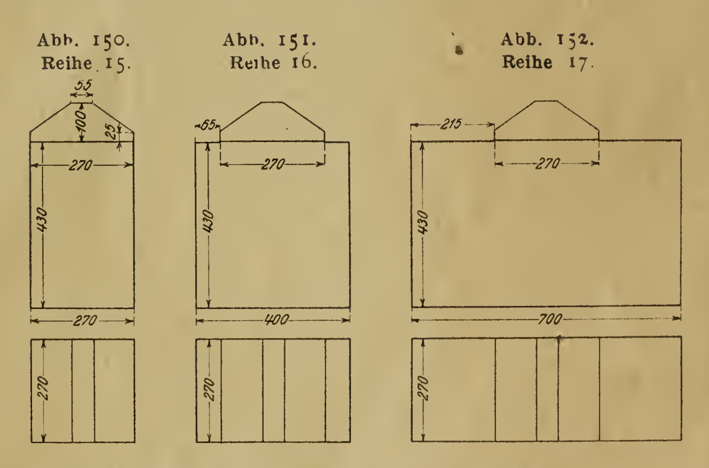


Abb. 150. Reihe 15. Abb. 151. Reihe 16. Abb. 152. Reihe 17.

II. Materialien der Versuchskörper. Zusammensetzung und Würfelfestigkeit des Betons.

Als Betonmaterial wurden verwendet:

Zement von den Portlandzementwerken Heidelberg und Mannheim, A.-G., in Heidelberg,

Rheinsand von der Firma Holzinger in Speyer,

Porphyrschotter vom Porphyrwerk in Dossenheim an der Bergstraße.

Das Raumgewicht im Verwendungszustand ergab sich

für 10 Liter Rheinsand zu 16,5 kg,

» 10 » Porphyrschotter zu 12,7 kg.

Zahlentafel 6.

Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Druckelastizität und Prismenfestigkeit des Betons.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen der Körper			Gewicht der Körper	Belastungsstufen	Zusammendrückungen in $^1/_{1200}$ cm auf die Meßlänge von 50 cm			Dehnungszahl der Federung	Bruchlast	
			Seite a	Seite b	Höhe h			gesamte	bleibende	federnde		P_{max}	$P_{max} : a\,b$
		Tage	cm	cm	cm	kg	kg/qcm					kg	kg/qcm
42	14. 3. 19	28	20,3	19,8	81,1	76,5	0,1 bis 12,4	1,93	0,02	1,91	1 : 386 400	122 900	306
							0,1 « 24,9	3,95	0,06	3,89	1 : 382 500		
							0,1 « 49,8	8,08	0,15	7,93	1 : 376 000		
							0,1 « 74,6	12,31	0,33	11,98	1 : 373 100		
							0,1 « 99,5	17,16	0,60	16,56	1 : 360 100		
							0,1 « 124,4	22,11	0,90	21,21	1 : 351 600		
							0,1 « 149,3	27,27	1,35	25,92	1 : 345 400		
							0,1 « 174,1	33,17	2,05	31,12	1 : 335 500		
							0,1 « 199,0	40,53	3,34	37,19	1 : 320 900		
51	19. 3. 19	27	20,0	20,2	81,1	77,2	0,1 « 12,4	1,98	0,02	1,96	1 : 376 500	121 300	300
							0,1 « 24,8	4,03	0,06	3,97	1 : 373 300		
							0,1 « 49,5	8,18	0,16	8,02	1 : 369 600		
							0,1 « 74,3	12,71	0,33	12,38	1 : 359 600		
							0,1 « 99,0	17,36	0,58	16,78	1 : 353 600		
							0,1 « 123,8	22,26	0,94	21,32	1 : 348 100		
							0,1 « 148,5	27,59	1,44	26,15	1 : 340 500		
							0,1 « 173,3	33,46	2,13	31,33	1 : 331 700		
							0,1 « 198,0	40,23	3,16	37,07	1 : 320 300		
59	25. 3. 19	29	20,2	19,7	81,1	76,1	0,1 « 12,6	1,92	0	1,92	1 : 390 600	126 300	317
							0,1 « 25,1	3,85	0	3,85	1 : 389 600		
							0,1 « 50,3	7,77	0,02	7,75	1 : 388 600		
							0,1 « 75,4	11,96	0,09	11,87	1 : 380 600		
							0,1 « 100,5	16,57	0,24	16,33	1 : 368 900		
							0,1 « 125,6	21,28	0,45	20,83	1 : 361 500		
							0,1 « 150,8	26,25	0,80	25,45	1 : 355 300		
							0,1 « 175,9	31,59	1,20	30,39	1 : 347 100		
							0,1 « 201,0	37,97	1,94	35,85	1 : 336 200		
Durchschnitt:	—	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	**308**

Zusammensetzung des Betons.

Sie betrug

1 Raumteil Zement, $1^1/_2$ Raumteile Rheinsand, 2 Raumteile Porphyrschotter 7,3 vH Wasser (Hundertteile vom Gewicht der trockenen Materialien).

Der Wasserzusatz war derart gewählt, daß Stampfbeton entstand.

Würfelfestigkeit des Betons.

Im Alter von 28 Tagen wurde ermittelt (Druck senkrecht zur Stampfrichtung

bei Würfel	das Raumgewicht zu	die Würfelfestigkeit zu
42	2,37	443
47	2,35	433
51	2,37	432
50	2,36	422
59	2,37	445
im Mittel zu	2,36	435 kg/qcm[1]).

[1]) Bei den Versuchen A betrug die Würfelfestigkeit 480 kg/qcm (S. 11), bei den Versuchen B 333 kg/qcm (S. 39).

III. Herstellung der Versuchskörper.

Die Herstellung und Lagerung der Körper erfolgte in gleicher Weise, wie dies S. 11 für die Versuche A beschrieben ist.

IV. Durchführung der Versuche.

Auch hier wurde wie bei den Versuchen A verfahren (vergl. S. 12).

V. Versuchsergebnisse.

1) Versuche über die Druckelastizität und Prismenfestigkeit des Betons.

Die Abmessungen der Versuchskörper und die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Zahlentafel 6 niedergelegt.

Die Dehnungszahl der Federung ergab sich hiernach im Alter von 28 Tagen

für die Belastungsstufe 0,1 bis rund 50 kg/qcm zu $^1/_{388600}$ bis $^1/_{369600}$,
» » » 0,1 » » 100 » » $^1/_{368900}$ » $^1/_{353600}$.

Die Prismenfestigkeit ist zu

$$(306 + 300 + 317) : 3 = \underline{308 \text{ kg/qcm}}$$

festgestellt worden.

2) Versuche über die Zugelastizität und Zugfestigkeit des Betons.

Zahlentafel 7 gibt über die Abmessungen der Körper Auskunft und enthält die Versuchsergebnisse.

Zahlentafel 7.
Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Zugelastizität und Zugfestigkeit des Betons.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Bezeichnung der Körper	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen der Körper: Seite a	Seite b	Länge L	Gewicht der Körper	Belastungsstufen	Verlängerungen in $^1/_{1200}$ cm auf die Meßlänge von 45 cm: gesamte	bleibende	federnde	Dehnungszahl der Federung	Bruchlast P_{max}	$P_{max} : a\,b$
		Tage	cm	cm	cm	kg	kg/qcm					kg	kg/qcm
47	17. 3. 19	26	20,0	20,0	145,0	152,4	1,2 bis 3,7	0,31	0	0,31	1 : 435 500	12 070	30,2
							1,2 « 7,5	0,80	0,01	0,79	1 : 427 200		
							1,2 « 11,2	1,32	0,02	1,30	1 : 415 400		
							1,2 « 15,0	1,89	0,03	1,86	1 : 399 200		
56	21. 3. 19	27	20,1	19,9	145,1	151,5	1,2 « 3,7	0,36	0,02	0,34	1 : 397 100	12 060	30,1
							1,2 « 7,5	0,92	0,07	0,85	1 : 397 100		
							1,2 « 11,2	1,51	0,13	1,38	1 : 391 300		
							1,2 « 15,0	2,14	0,22	1,92	1 : 386 700		
							1,2 « 18,7	2,79	0,28	2,51	1 : 376 500		
							1,2 « 22,5	3,56	0,43	3,13	1 : 366 600		
59	25. 3. 19	29	20,2	20,0	145,0	152,9	1,2 « 3,7	0,37	0,04	0,33	1 : 405 000	10 200	25,2
							1,2 « 7,4	0,93	0,10	0,83	1 : 402 600		
							1,2 « 11,1	1,51	0,17	1,34	1 : 399 000		
							1,2 « 14,9	2,10	0,25	1,85	1 : 397 400		
							1,2 « 18,6	2,76	0,40	2,36	1 : 396 500		
							1,2 « 22,3	3,73	0,67	3,06	1 : 371 300		
Durchschnitt:	—	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	**28,5**

Die Dehnungszahl der Federung wurde ermittelt
für die Belastungsstufe 1,2 bis 7,5 kg/qcm zu $^1/_{427200}$ bis $^1/_{397100}$,
» » » 1,2 » 15 » » $^1/_{399200}$ » $^1/_{386700}$.
Die Zugfestigkeit des Betons betrug im Mittel

$$(30{,}2 + 30{,}1 + 25{,}2) : 3 = \underline{28{,}5\ \text{kg/qcm}}\,^{1)}.$$

Die Würfelfestigkeit ist somit zum $\frac{435}{28{,}5} = 15{,}3$-fachen der Zugfestigkeit festgestellt worden.

3) Versuche mit den Betonquadern

48, 57 und 59 der Reihe 11, Bauart nach Abb. 146,
41, 43 „ 53 „ „ 12, „ „ „ 147,
47, 56 „ 60 „ „ 13, „ „ „ 148,
42, 51 „ 58 „ „ 14, „ „ „ 149.

Die Körper unterscheiden sich lediglich durch die Höhe, welche beträgt

bei Reihe	11	12	13	14
rd.	270	430	540	810 mm.

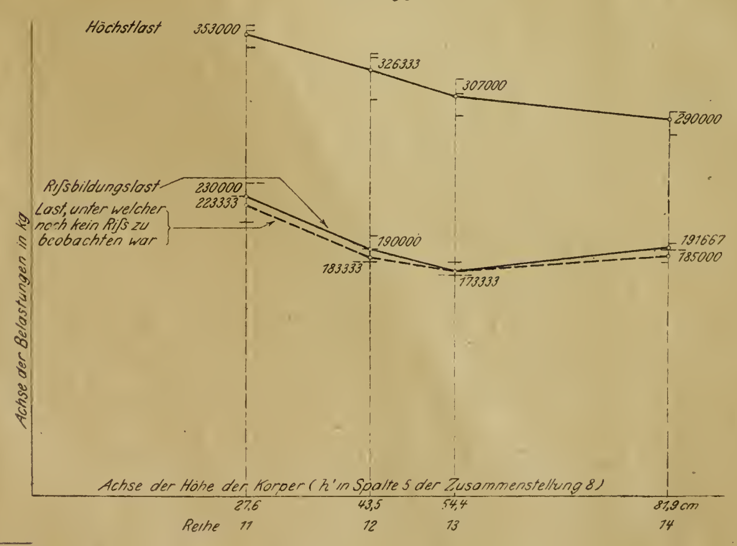
Die genauen Abmessungen sind in Zahlentafel 8 eingetragen.

a) Rißbildungslast und Höchstlast der Körper.

Die Belastungen unmittelbar vor der ersten Rißbildung betrugen
bei den Körpern der Reihe 11 (276 mm hoch) $P = (230000 + 210000 + 230000) : 3 = \underline{223333\ \text{kg}}$,
» » » » » 12 (435 » ») $P = (190000 + 180000 + 180000) : 3 = \underline{183333\ \text{kg}}$,
» » » » » 13 (544 » ») $P = (170000 + 170000 + 180000) : 3 = \underline{173333\ \text{kg}}$,
» » » » » 14 (819 » ») $P = (180000 + 185000 + 190000) : 3 = \underline{185000\ \text{kg}}$.

Die Durchschnittswerte sind in dem unteren gestrichelten Linienzug der Abb. 153 zeichnerisch dargestellt. Zu den Höhen der Körper als wagerechten Abszissen sind die Belastungen als senkrechte Ordinaten aufgetragen.

Abb. 153.



1) Bei den Versuchen A betrug die Zugfestigkeit des Betons 35,2 kg/qcm (vergl. S. 15).

Zahlentafel 8.

Körper der Reihen 11 bis 17, Bauart nach Abb. 146 bis 152, Druckfläche bei allen Körpern $f = 27 \cdot 27 = 729$ qcm.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Bezeichnung	Herstellungstag	Alter am Prüfungstag	Abmessungen und Gewicht der Körper: Höhe h	Höhe h'	Seite a	Seite b	Gewicht G	Belastung, unter welcher noch kein Riß beobachtet wurde	Belastung, unter welcher erstmals Risse beobachtet wurden	Höchstlast P_{max}	$\frac{P_{max}}{a \cdot b}$	$\frac{P_{max}}{f}$
		Tage	cm	cm	cm	cm	kg	kg	kg	kg	kg/qcm	kg/qcm
Körper der Reihe 11, Bauart nach Abb. 146.												
48	17. 3. 19	28	27,1	27,5	54,2	27,3	95,5	230 000	240 000	360 000		
57	21. 3. 19	27	27,2	27,7	54,0	27,2	95,4	210 000	210 000	343 000		
59	25. 3. 19	29	27,3	27,7	54,0	27,1	95,4	230 000	240 000	356 000		
Durchschnitt der Reihe 11:		28	27,2	27,6	54,1	27,2	95,4	223 333	230 000	353 000	240	484
Körper der Reihe 12, Bauart nach Abb. 147.												
41	7. 3. 19	28	43,0	43,4	54,1	27,2	150,5	190 000	200 000	304 000		
43	14. 3. 19	27	43,2	43,6	54,1	27,4	152,9	180 000	180 000	339 000		
53	19. 3. 19	28	43,1	43,6	54,0	27,2	151,1	180 000	190 000	336 000		
Durchschnitt der Reihe 12:		28	43,1	43,5	54,1	27,3	151,5	183 333	190 000	326 333	221	448
Körper der Reihe 13, Bauart nach Abb. 148.												
47	17. 3. 19	26	53,9	54,3	54,0	27,4	191,0	170 000	170 000	292 000		
56	21. 3. 19	33	53,9	54,4	54,0	27,4	191,0	170 000	170 000	309 000		
60	25. 3. 19	30	54,1	54,6	54,0	27,4	191,2	180 000	180 000	320 000		
Durchschnitt der Reihe 13:		30	54,0	54,4	54,0	27,4	191,1	173 333	173 333	307 000	207	421
Körper der Reihe 14, Bauart nach Abb. 149.												
42	14. 3. 19	27	81,6	82,0	53,9	27,3	286,2	180 000	190 000	296 000		
51	19. 3. 19	27	81,5	81,9	54,1	27,3	286,0	185 000	190 000	296 000		
58	21. 3. 19	27	81,6	81,9	54,0	27,2	286,1	190 000	195 000	278 000		
Durchschnitt der Reihe 14:		27	81,6	81,9	54,0	27,3	286,1	185 000	191 667	290 000	197	398
Körper der Reihe 15, Bauart nach Abb. 150.												
45	14. 3. 19	28	43,6	—	26,8	27,1	75,5	210 000	215 000	261 000		
49	17. 3. 19	28	43,5	—	27,1	26,7	75,7	210 000	215 000	271 000		
54	19. 3. 19	28	43,7	—	27,1	26,9	75,7	200 000	210 000	259 000		
Durchschnitt der Reihe 15:		28	43,6	—	27,0	26,9	75,6	206 667	213 333	263 667	363	—
Körper der Reihe 16, Bauart nach Abb. 151.												
40	7. 3. 19	27	43,0	43,4	40,2	27,3	111,4	180 000	190 000	276 000		
44	14. 3. 19	27	43,3	43,6	40,1	27,4	113,5	190 000	195 000	298 000		
52	19. 3. 19	27	43,1	43,6	40,2	27,2	113,5	190 000	190 000	287 000		
Durchschnitt der Reihe 16:		27	43,1	43,5	40,2	27,3	112,8	186 667	191 667	287 000	262	394
Körper der Reihe 17, Bauart nach Abb. 152.												
46	14. 3. 19	28	43,3	43,7	70,3	27,2	198,4	190 000	190 000	382 000		
50	17. 3. 19	28	43,3	43,7	70,3	27,2	198,3	190 000	190 000	371 000		
55	19. 3. 19	28	43,3	43,8	70,1	27,2	197,5	170 000	170 000	344 000		
Durchschnitt der Reihe 17:		28	43,3	43,7	70,2	27,2	198,1	183 333	183 333	365 667	192	502

Hiernach hat die Belastung, bei welcher noch kein Riß zu finden war, abgenommen von $P = 223\,333$ kg auf $P = 183\,333$ kg bei Vergrößerung der Körperhöhe von 276 auf 435 mm. Die Belastungen, welche für die Körper der Reihe 12 (435 mm Höhe) und 14 (819 mm Höhe) ermittelt sind, unterscheiden sich nicht ausgeprägt.

Für Reihe 13 ist die Belastung etwas kleiner als für Reihe 12 und 14 ausgefallen. Dieses Weniger scheint ein Zufallergebnis zu sein, wie die später mitgeteilten Ergebnisse der Reihen 16 und 17 zeigen.

Im Ganzen dürfte aus den Versuchen zu entnehmen sein, daß sich die *Größe der Belastung unmittelbar vor der Rißbildung mit Zunahme der Körperhöhe von 435 auf 819 mm nicht wesentlich ändert.*

Die Belastungen, unter welchen der erste Riß beobachtet worden ist (Rißbildungslast), betragen

bei den Körpern der Reihe 11 (276 mm hoch) $P = (240\,000 + 210\,000 + 240\,000) : 3 = \underline{230\,000 \text{ kg}}$,

» » » » » 12 (435 » ») $P = (200\,000 + 180\,000 + 190\,000) : 3 = \underline{190\,000 \text{ kg}}$,

» » » » » 13 (544 » ») $P = (170\,000 + 170\,000 + 180\,000) : 3 = \underline{173\,333 \text{ kg}}$,

» » » » 14 (819 « ») $P = (190\,000 + 190\,000 + 195\,000) : 3 = \underline{191\,667 \text{ kg}}$.

Die Durchschnittswerte sind in dem mittleren ausgezogenen Linienzug der Abb. 153 eingetragen. Im übrigen kann auf das oben Gesagte verwiesen werden.

Die Höchstlast der Körper wurde ermittelt

bei den Körpern der Reihe 11 (276 mm hoch) zu $P_{max} = (360\,000 + 343\,000 + 356\,000) : 3 = \underline{353\,000 \text{ kg}}$,

» » » » » 12 (435 » ») » $P_{max} = (304\,000 + 339\,000 + 336\,000) : 3 = \underline{326\,333 \text{ kg}}$,

» » » » » 13 (544 » ») » $P_{max} = (292\,000 + 309\,000 + 320\,000) : 3 = \underline{307\,000 \text{ kg}}$,

» » » » » 14 (819 » ») » $P_{max} = (296\,000 + 296\,000 + 278\,000) : 3 = \underline{290\,000 \text{ kg}}$.

Die Durchschnittswerte sind in dem oberen Linienzug der Abb. 153 zeichnerisch dargestellt.

Hieraus ist ersichtlich, daß die Bruchlast mit zunehmender Körperhöhe abgenommen hat und zwar von

353000 bei 276 mm Höhe auf 290000 kg bei 819 mm Höhe d. i.

$$\frac{63\,000}{353\,000} \cdot 100 = 18 \text{ vH}.$$

Die Ergebnisse stehen im Einklang mit den Feststellungen bei den früheren Versuchen zur Ermittlung der Druckfestigkeit von unbewehrten Betonkörpern bei verschiedener Höhe derselben [1]) und besagen ferner, daß es sich empfiehlt, bei künftigen Versuchen mit Brückengelenken höhere Quader als bei den Versuchen A und B zu verwenden.

---

[1]) C. Bach, Deutsche Bauzeitung, Mitteilungen über Zement, Beton- und Eisenbetonbau 1914, Nr. 5, S. 33 bis 36, insbesondere Abb. 17.

Das Verhältnis der Höchstlast zur Rißbildungslast beträgt

bei Reihe 11 353000 : 230000 = 1 : 0,65,
» » 12 326333 : 190000 = 1 : 0,58,
» » 13 307000 : 173333 = 1 : 0,56,
» » 14 290000 : 191667 = 1 : 0,66.

Bei den Körpern der Reihe 3 (Versuche A, S. 20) ist dieses Verhältnis zu 1 : 0,49, bei den Körpern der Reihe 7 (Versuche B, S. 44) zu 1 : 0,71 ermittelt worden.

Die Belastung auf 1 qcm der oberen Druckfläche ($27 \cdot 27 = 729$ qcm) beträgt unter der Höchstlast

bei Reihe 11 (276 mm hoch) $k = 353000 : 729 = 484$ kg/qcm,
» » 12 (435 » ») $k = 326333 : 729 = 448$ » ,
» » 13 (544 » ») $k = 307000 : 729 = 421$ » ,
» » 14 (819 » ») $k = 290000 : 729 = 398$ » ,

somit bei Reihe 11 das $\frac{484}{435} = 1{,}11$-fache der Würfelfestigkeit,
» » 14 » $\frac{398}{435} = 0{,}91$-fache » » [1].

b) Erscheinungen bei der Rißbildung und Zerstörung der Körper der Reihen 11 bis 14.

In den Abb. 154 bis 167 sind die Versuchskörper im Zustand nach dem Versuch dargestellt.

Zur Erläuterung des Fortschreitens der Risse mit steigender Last sind in Abb. 168 bis 179 die Risse wiedergegeben, welche

bei den Körpern der Reihe 11 unter $P = 275000$ kg,
» » » » Reihen 12 bis 14 unter $P = 225000$ kg

vorhanden waren. Wie ersichtlich, sind die Risse bei den Körpern der Reihen 12 bis 14 regelmäßig nahe der Körperachse erschienen, wie dies von früheren Versuchen bekannt ist (vergl. das S. 18 Gesagte), während bei den Körpern der Reihe 11 die Risse unregelmäßig aufgetreten sind.

Bemerkenswert dürfte es sein, die Lage der ersten Risse in Bezug auf die obere Druckfläche zu verfolgen. Der Abstand der Enden der ersten Risse von der oberen Fläche ist ermittelt worden (Durchschnittswerte)

bei Reihe 11 (276 mm hoch) zu 148 bis 205 mm, die Rißmitte zu 176 mm,
» » 12 (435 » ») » 140 » 319 » , » » » 229 » ,
» » 13 (544 » ») » 85 » 467 » , » » » 271 » ,
» » 14 (819 » ») » 180 » 451 » , » » » 315 » .

Mit Zunahme der Körperhöhe hat der Abstand des Orts der ersten Risse von der oberen Druckfläche zugenommen, jedoch weit weniger als die Körperhöhe.

Nach Ueberschreiten der Höchstlast der Körper erfolgte wie bei den früheren Versuchen Auseinandersprengen der Körper derart, daß von der Druckplatte aus ein Druckkeil in den Versuchskörper getrieben wurde, vergl. Abb. 155, 159 und 164.

Eine besondere Beobachtung ist beim Körper 60 der Reihe 13, Abb. 160, angestellt worden. Auf der vorderen Seite dieses Körpers ist ein Flächenstreifen, welcher in Abb. 160 bei $a - a$ dunkel erscheint, genau eben

[1] Vergl. dazu S. 21.

Abb. 154.

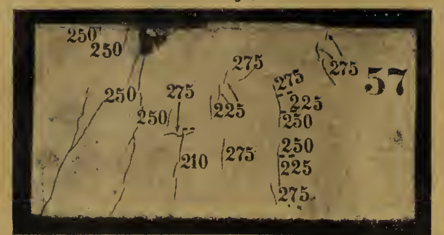


Abb. 155.



Abb. 156.

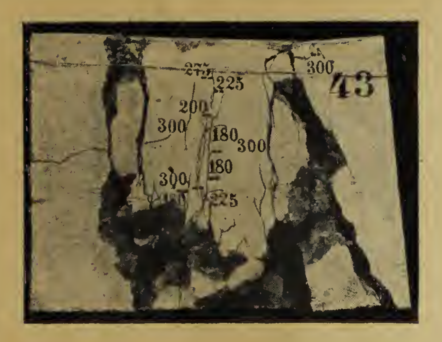


Abb. 157.

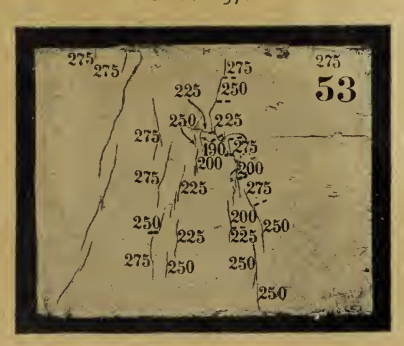


Abb. 158.

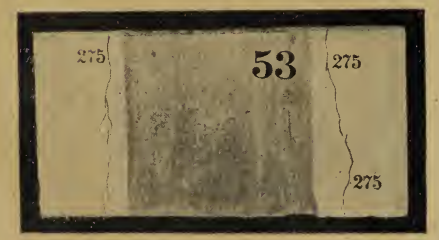


Abb. 159 und 160.



Abb. 161.

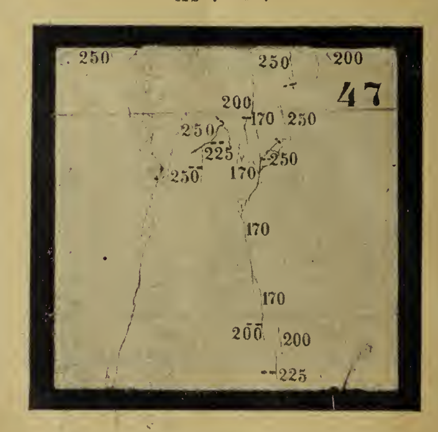
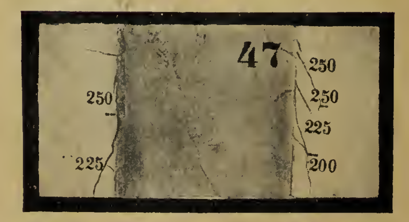


Abb. 162.



geschliffen worden, mit dem Zweck, festzustellen, ob die Fläche nach dem Auftreten der ersten Risse eben bleibt oder nicht. Der erste Riß ist unter $P = 180000$ kg aufgetreten; eine Krümmung der Fläche $a - a$ ließ sich unter dieser Last mit dem Lineal noch nicht wahrnehmen. Unter $P = 200000$ kg war

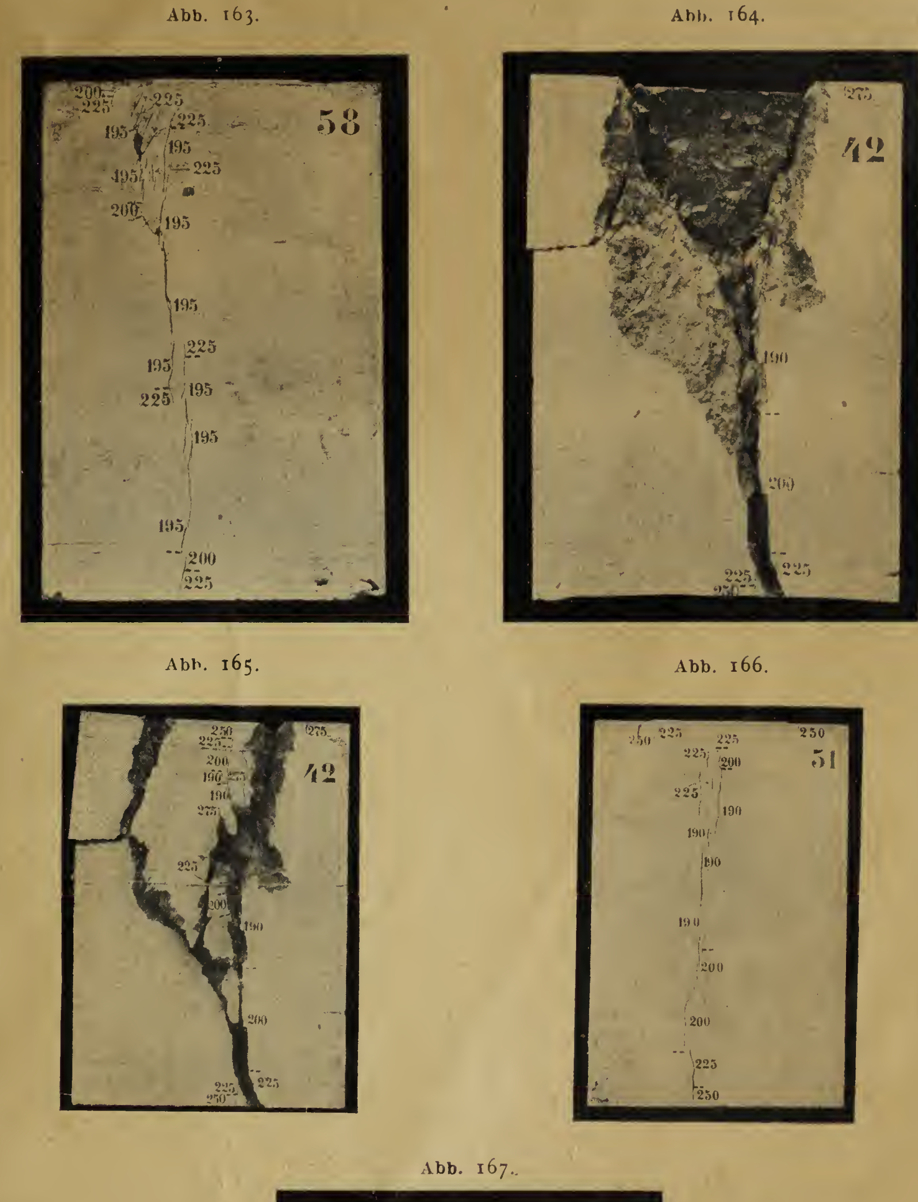


Abb. 163. Abb. 164. Abb. 165. Abb. 166. Abb. 167.

der Riß länger und breiter geworden; mit dem Lineal war nun eine deutliche Krümmung der Fläche *a* — *a* nach außen festzustellen. Diese Erscheinung und die Feststellungen über den Verlauf der Risse an der Oberfläche der Körper deuten an, wie schon S. 20 hervorgehoben, daß die ersten Risse lediglich in der Schale des Körpers aufgetreten sind, welche durch den Keil abgesprengt ist, der von der Druckplatte aus in den Körper hineingetrieben wurde.

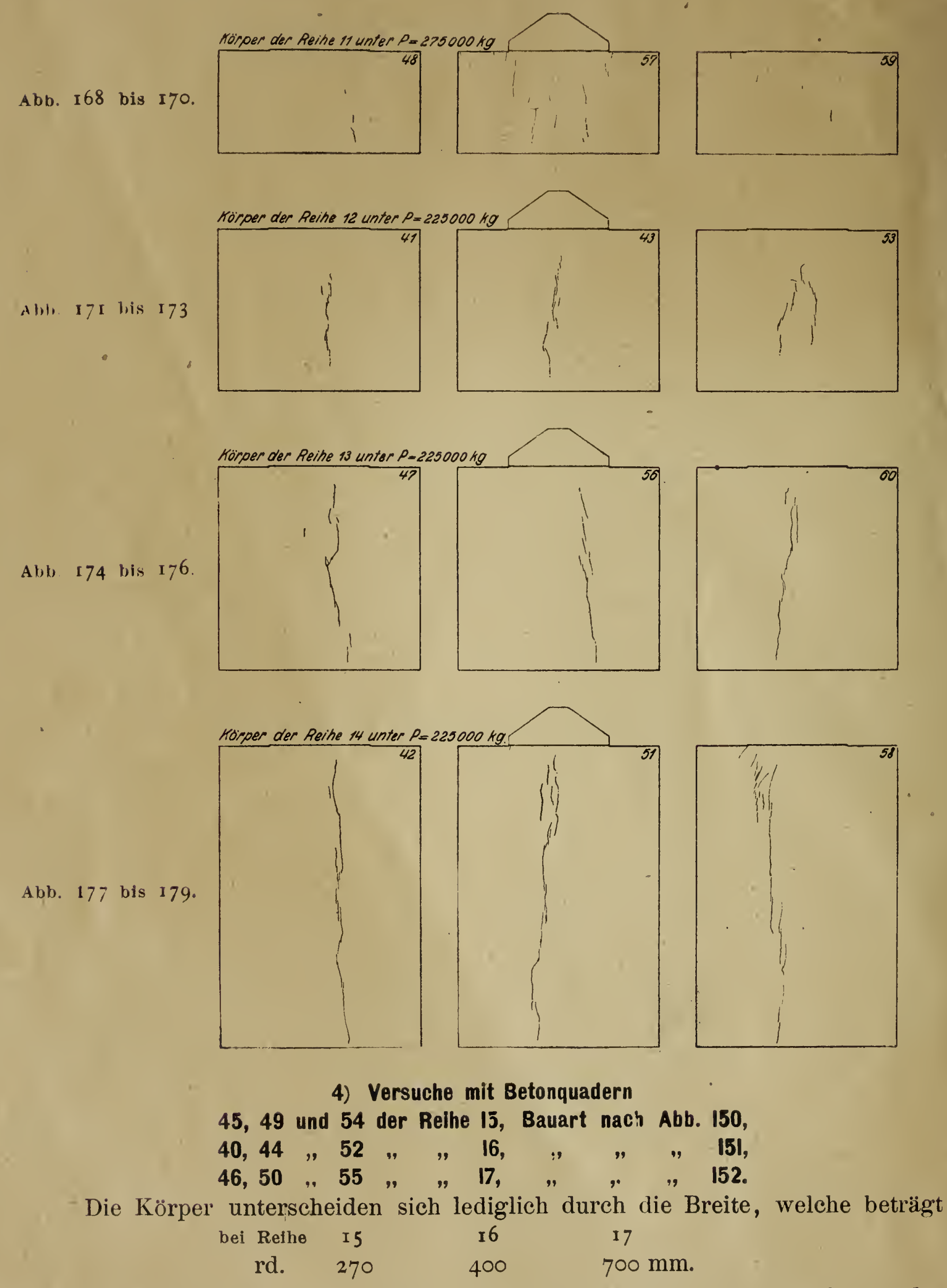


Abb. 168 bis 170.

Abb. 171 bis 173.

Abb. 174 bis 176.

Abb. 177 bis 179.

4) Versuche mit Betonquadern

45, 49 und 54 der Reihe 15, Bauart nach Abb. 150,
40, 44 „ 52 „ „ 16, „ „ „ 151,
46, 50 „ 55 „ „ 17, „ „ „ 152.

Die Körper unterscheiden sich lediglich durch die Breite, welche beträgt

bei Reihe	15	16	17
rd.	270	400	700 mm.

Bei Beurteilung der Ergebnisse werden im folgenden noch die Körper der Reihe 12 herangezogen, bei denen die Körperbreite 540 mm beträgt; Reihe 12

ist also für die vorliegende Untersuchung zwischen Reihe 16 und 17 einzuschalten.

Die genauen Abmessungen der Versuchskörper sind in Zahlentafel 8 eingetragen.

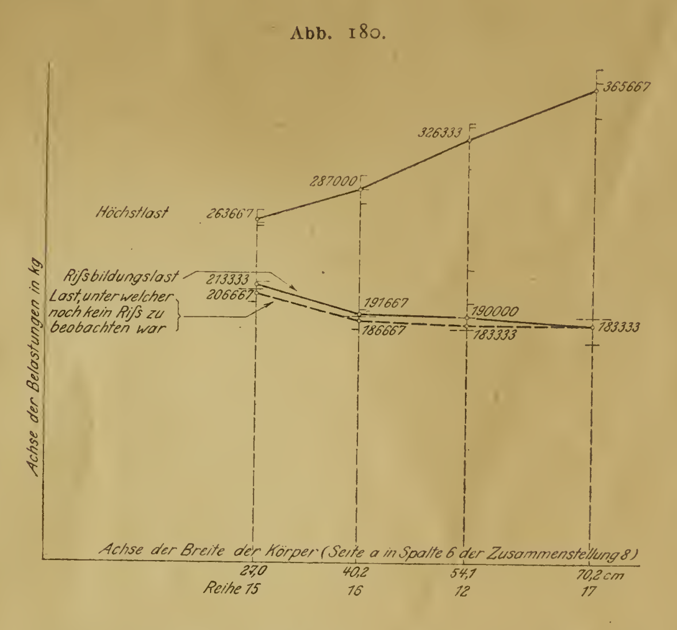
a) Rißbildungslast und Höchstlast der Körper.

Die Belastung, unter der letztmals kein Riß zu finden war, ist ermittelt worden

bei Reihe 15 (270 mm breit) zu $P = (210000 + 210000 + 200000) : 3 = \underline{206667}$ kg,
» » 16 (402 » ») » $P = (180000 + 190000 + 190000) : 3 = \underline{186667}$ » ,
» » 12 (541 » ») » $P = (190000 + 180000 + 180000) : 3 = \underline{183333}$ » ,
» » 17 (702 » ») » $P = (190000 + 190000 + 170000) : 3 = \underline{183333}$ » .

Die Durchschnittswerte sind in dem unteren gestrichelten Linienzug der Abb. 180 eingetragen.

Abb. 180.



Hieraus erhellt, daß die Belastung, unter welcher letztmals kein Riß zu finden war, von $P = 206667$ kg auf $P = 186667$ kg abgenommen hat mit Zunahme der Körperbreite von 270 auf 402 mm. Bei weiterer Zunahme der Körperbreite änderte sich die Belastung nicht mehr ausgeprägt, erhöhte sich also auch nicht.

Die Rißbildungslast ergab sich

bei Reihe 15 (270 mm breit) zu $P = (215000 + 215000 + 210000) : 3 = \underline{213333}$ kg,
» » 16 (402 » ») » $P = (190000 + 195000 + 190000) : 3 = \underline{191667}$ » ,
» » 12 (541 » ») » $P = (200000 + 180000 + 190000) : 3 = \underline{190000}$ » ,
» » 17 (702 » ») » $P = (190000 + 190000 + 170000) : 3 = \underline{183333}$ » .

Auch diese Durchschnittswerte sind in Abb. 180 (mittlerer Linienzug) eingetragen. Wiederum ist zu erkennen, daß die Rißbildungslast durch Verbreiterung des Körpers unter Beibehaltung der oberen Druckfläche nicht erhöht wird, vielmehr ist eine Abnahme zu verzeichnen.

Die Höchstlast der Körper fand sich

bei Reihe 15 (270 mm breit) zu $P_{max} = (261\,000 + 271\,000 + 259\,000) : 3 = \underline{263\,667}$ kg,
» » 16 (402 » ») » $P_{max} = (276\,000 + 298\,000 + 287\,000) : 3 = \underline{287\,000}$ » ,
» » 12 (541 » ») » $P_{max} = (304\,000 + 339\,000 + 336\,000) : 3 = \underline{326\,333}$ » ,
» » 17 (702 » ») » $P_{max} = (382\,000 + 371\,000 + 344\,000) : 3 = \underline{365\,667}$ » .

Die Durchschnittswerte finden sich in dem oberen Linienzug der Abb. 180 eingetragen. Hieraus folgt, daß die Höchstlast mit Zunahme der Körperbreite erheblich gewachsen ist.

Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit Versuchen an Sandsteinkörpern, die im Jahr 1887 durchgeführt worden sind und über welche zuletzt in C. Bach, Elastizität und Festigkeit, 7. Aufl., S. 209 (8. Aufl., S. 216) berichtet ist. Damals erfolgte die Beurteilung der Ergebnisse mit folgender Gleichung

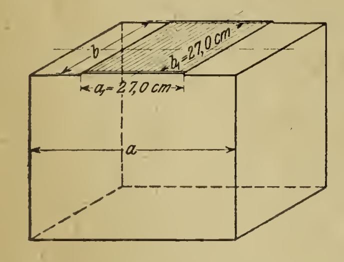
$$K = K_0 \sqrt[3]{\frac{a\,b}{a_1\,b_1}}$$

worin bedeutet

K die Druckfestigkeit des Körpers bei Belastung in der schraffierten Fläche, Abb. 181, bezogen auf ihre Flächeneinheit,

K_0 die Druckfestigkeit für den Fall, daß die Belastung über die ganze Stirnfläche gleichmäßig verteilt ist.

Abb. 181.



Wird für K_0 die Druckfestigkeit der Körper der Reihe 15 (363 kg/qcm) eingeführt, so ergibt sich

für Reihe 16

$$K = 363 \sqrt[3]{\frac{40{,}2 \cdot 27{,}3}{27 \cdot 27}} = \underline{416} \text{ kg/qcm, gegenüber } \underline{394} \text{ kg/qcm beim Versuch,}$$

für Reihe 12

$$K = 363 \sqrt[3]{\frac{54{,}1 \cdot 27{,}3}{27 \cdot 27}} = \underline{459} \text{ kg/qcm, gegenüber } \underline{448} \text{ kg/qcm beim Versuch,}$$

für Reihe 17

$$K = 363 \sqrt[3]{\frac{70{,}2 \cdot 27{,}2}{27 \cdot 27}} = \underline{500} \text{ kg/qcm, gegenüber } \underline{502} \text{ kg/qcm beim Versuch.}$$

Rechnung und Versuch stehen hiernach in befriedigender Uebereinstimmung.

In Bezug auf die Steigerung der Höchstlast durch Verbreiterung der Körper über die obere Druckfläche hinaus, sind noch folgende Zahlen bemerkenswert.

Bei Zunahme der Breite von 27,0 auf 40,2 cm ist P_{max} um 287 000 — 263 667 = 23 333 kg gewachsen, somit um 1767 kg für 1 cm, bezw. $\frac{1767}{27{,}3} = 65$ kg/qcm,

bei Zunahme der Breite von 27,0 auf 54,1 cm ist P_{max} um 326333 — 263667 = 62666 kg gewachsen, somit um 2312 kg für 1 cm, bezw. $\frac{2312}{27,3} = 85$ kg/qcm,

bei Zunahme der Breite von 27,0 auf 70,2 cm ist P_{max} um 365667 — 263667 = 102000 kg gewachsen, somit um 2361 kg für 1 cm, bezw. $\frac{2361}{27,2} = 87$ kg/qcm.

Die Anteilnahme des Materials, das außerhalb der oberen Druckfläche liegt, ist somit nicht sehr bedeutend, wenn beachtet wird, daß die Druckfestigkeit der Körper der Reihe 15 zu 363 kg/qcm ermittelt worden ist.

Abb. 182 und 183.

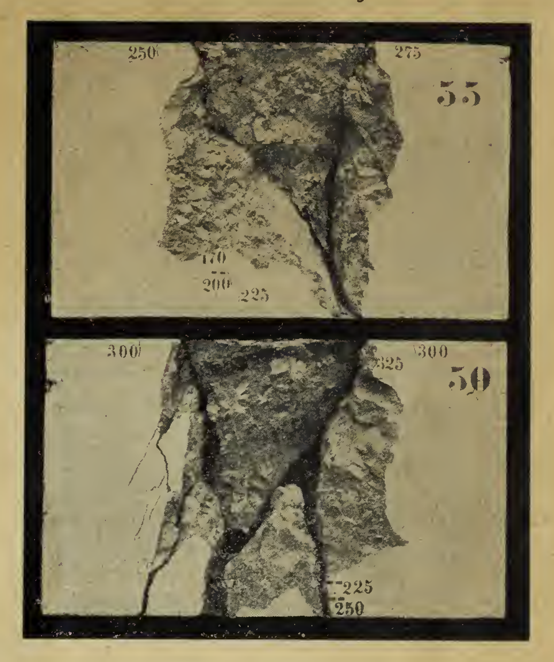


Abb. 184.



Das Verhältnis der Höchstlast zur Rißbildungslast beträgt

bei Reihe 15 (270 mm breit) 263667 : 213333 = 1 : 0,81,
» » 16 (402 » ») 287000 : 191667 = 1 : 0,67,
» » 12 (541 » ») 326333 : 190000 = 1 : 0,58,
» » 17 (702 » ») 365667 : 183333 = 1 : 0,50.

Mit Zunahme der Körperbreite wächst der Unterschied zwischen Rißbildungslast und Höchstlast, wie auch aus Abb. 180 anschaulich zu erkennen ist.

b) Erscheinungen bei der Rißbildung und Zerstörung der Körper der Reihen 15 bis 17.

In den Abb. 182 bis 184 sind die Versuchskörper der Reihe 17 im Zustand nach dem Versuch dargestellt.

Die Abb. 185 bis 193 veranschaulichen die Entwicklung der Risse auf den Seitenflächen der Körper der Reihen 15 bis 17.

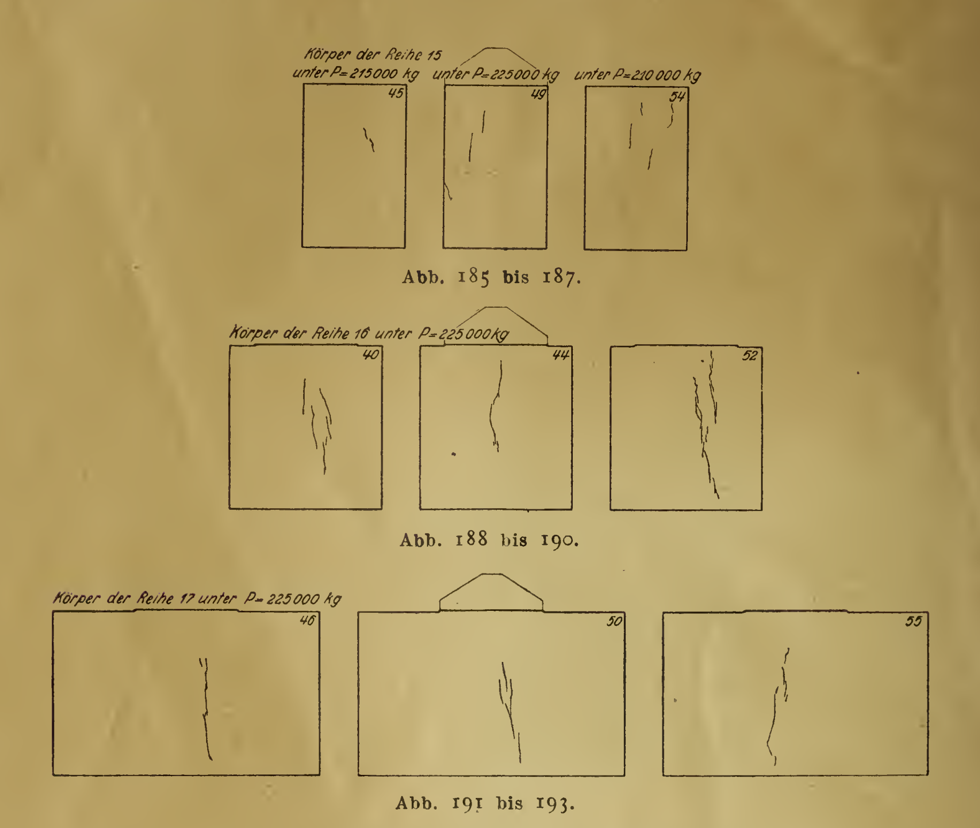


Abb. 185 bis 187.

Abb. 188 bis 190.

Abb. 191 bis 193.

Ferner ist unter der Rißbildungslast der Abstand der Enden der ersten Risse von der oberen Fläche gemessen worden und zwar (Durchschnittswerte)
bei Reihe 15 (270 mm breit) zu 65 bis 195 mm,
» » 16 (402 » ») » 96 » 223 » , der Abstand der Rißmitte zu 160 mm,
» » 12 (541 » ») » 140 » 319 » , » » » » » 229 » ,
» » 17 (702 » ») » 190 » 392 » , » » » » » 276 » .

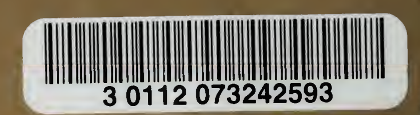
Mit Zunahme der Körperbreite hat sich der Ort der ersten Risse von der oberen Fläche entfernt.

Die weitere Erörterung der Versuchsergebnisse bleibt für später vorbehalten.[1])

Stuttgart, im Mai 1919.

---

[1]) Vergl. auch Handbuch für Eisenbetonbau, 3. Auflage, 1. Band, S. 351 uf.



Verlag des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin NW. 7.
Verantwortlich für den Anzeigenteil: Fritz Noack, Berlin-Niederschönhausen.
Druck: A. W. Schade, Berlin N., Schulzendorferstr. 26.